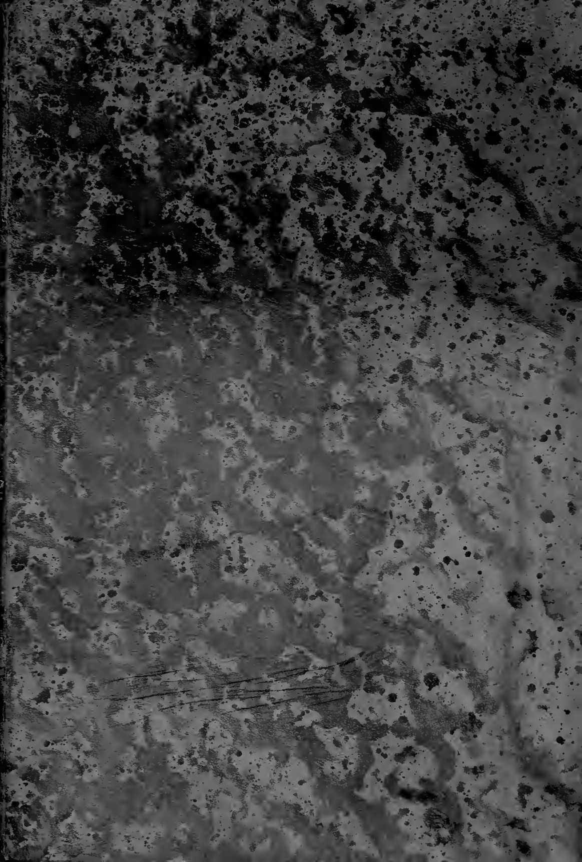
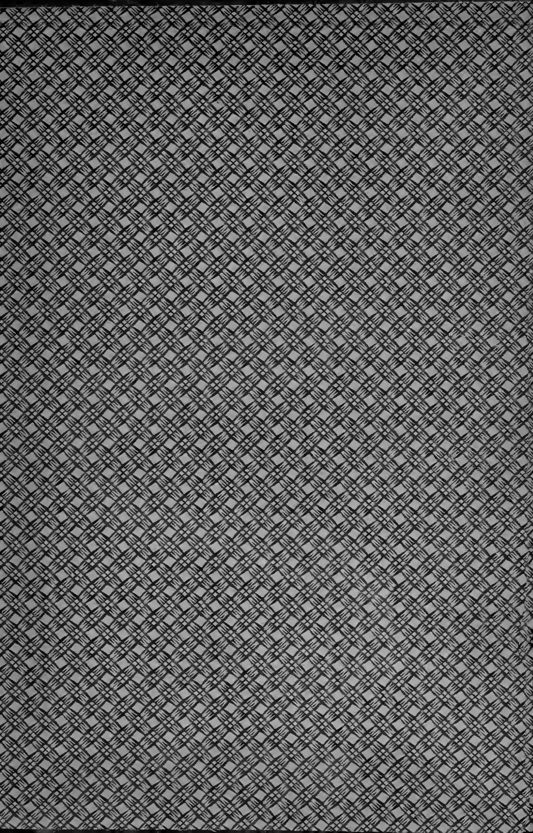
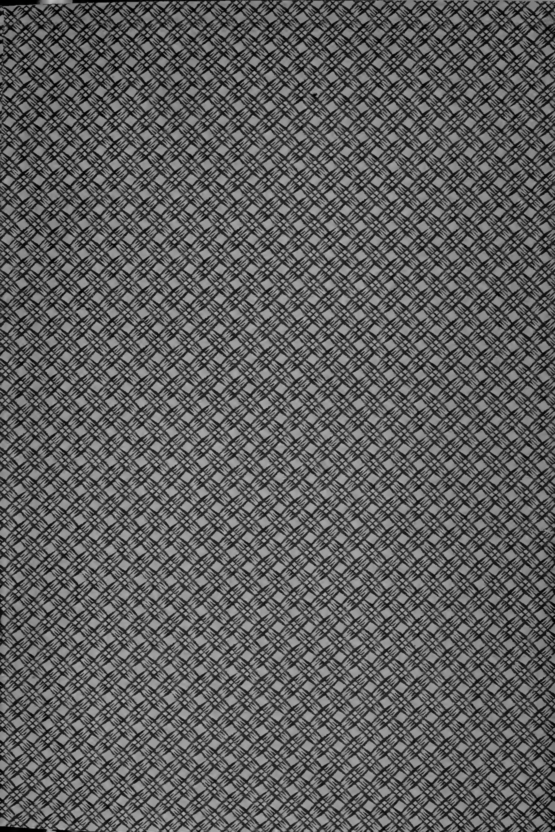






LA ELECTRICIDAD

Y

LOS CAMINOS DE HIERRO.



LA ELECTRICIDAD

Y

LOS CAMINOS DE HIERRO.

DESCRIPCION Y EXÁMEN

DE LOS

SISTEMAS PROPUESTOS PARA EVITAR ACCIDENTES EN LOS CAMINOS DE HIERRO

POR MEDIO DE LA ELECTRICIDAD,

precedidos de una reseña histórico-elemental de esta ciencia y de sus principales aplicaciones,

POR D. MANUEL FERNANDEZ DE CASTRO,

Ingeniero jefe de primera clase del Cuerpo de Minas.

Impresa de Real órden.

PARTE PRIMERA. — LA ELECTRICIDAD.

Madrid,

IMPRENTA Y ESTEREOTIPIA DE M. RIVADENEYRA,

calle de la Madera, número 8.

1857.

AL SEÑOR DON FELIPE FERNANDEZ DE CASTRO.

Si al dedicar á V. esta obra, fruto de mis trabajos hace cinco años, lo hago por cariño y respeto, cumplo tambien con un deber de justicia y de gratitud. No solo me inspiró V. la primera idea del *Sistema de señales eléctricas*, tal vez lo único verdaderamente notable que hay en él, sino que me ayudó V. con sus consejos, mientras pudo dármelos; el recuerdo de ellos y la firmeza y perseverancia con que ha sabido V. soportar las mayores vicisitudes, sirviéndome de ejemplo, me han dado fuerzas para luchar contra toda clase de obstáculos, y obtener en mi país el mas lisonjero de los triunfos: el aprecio de sus representantes. Hoy, que la suerte nos obliga á vivir separados, llegue al menos hasta V. la seguridad de que su nombre es inseparable de la gloria á que pueda aspirar su hijo,

MANUEL FERNANDEZ DE CASTRO.

PROLOGO.

El sentimiento dominante hoy entre los hijos del siglo XIX es el orgullo de su propia obra. Cada uno se complace en volver atrás la vista y comparar el estado de Europa en tiempo de sus abuelos con las maravillas que nos rodean y embelesan. De semejante comparacion surge, entre las que mas han contribuido á trasformar el mundo, una idea exagerada de la perfeccion moderna, y como forzosa consecuencia de esta, cierta tendencia á dar por terminada la obra, reposar extasiados á su sombra, y esculpir al pié del ídolo querido las palabras temerarias: *Non plus ultra.*

El castigo de la mujer de Lot se reproduce sin cesar, y pocos son los que, olvidando parábola tan profunda, y no pudiendo resistir á la tentacion de volver á menudo la cabeza, dejen de convertirse en estacionarios, sin hallar ánimo bastante para seguir esa marcha progresiva, que es la ley irrevocable del mundo.

Por fortuna, tras de una generacion viene otra, y cuando las caducas, aunque ceñida la frente de laureles y cubriendo su decrepitud con el manto de su gloria, carecen de fuerzas y van perdiendo la fogosidad de sus primeros años, llegan en tropel las nuevas generaciones, y á impulsos de su inexperiencia, tanto como de su entusiasmo, desmoronan, cambian,

modifican las cosas y las ideas, y hacen dar un paso mas al hombre.

De aquí la lucha, de aquí la luz. Tal fué siempre la historia de la humanidad; y sin ir á buscar ejemplos muy remotos, citaré uno de nuestros mismos dias. Thiers, Arago, con otras eminencias científicas, trataron de imposibles los primeros proyectos de caminos de hierro en Francia, y señalaron á sus autores como visionarios. Los creyentes entusiastas tuvieron entonces que sostener rudamente sus ideas contra los que gozaban de merecida reputacion como promovedores de provechosos adelantos; y ¡cosa singular! vencedores hoy de sus contrarios, no parece sino que, al verse dueños del terreno, han querido serlo tambien de sus preocupaciones. Ensayan el mismo tono, sostienen idénticas reconvenciones, y niegan el oído de igual manera á los que, jóvenes (como ellos lo eran hace veinte años), no quieren admitir su *Non plus ultra,* porque creen con fe que el mundo no ha dado todavía el último paso.

Tal es la flaqueza humana. Cansado el hombre hácia el término de su larga y trabajosa jornada, intenta retener cerca de sí á los que pasan adelante para descubrir nuevos horizontes. Esos mismos que recuerdan con amarga ironía y noble orgullo la indiferencia con que fueron escuchadas sus provechosas ideas, dicen hoy á cuantos proponen alguna nueva: «No os canseis, no cabe mejoría en nuestra obra; consagrad vuestro talento y vuestros afanes á su cuidado y desarrollo, y muy en breve veréis cuánto es hermosa. ¿Qué mas pedís? Comparadla con todo lo que ha sustituido. ¿Todavía no estáis satisfechos?»

¡Triste realidad! Despues de ser apóstoles del progreso, casi todos los hombres se hacen en la vejez fariseos de sus santas leyes, y bien pronto comunicarian su paralizacion y decaimiento á la tierra, sin las nacientes generaciones, retoños que renuevan cada hora su aspecto y lozanía.

El libro al cual sirven de prólogo estas pobrísimas líneas es hijo de una idea nueva, que aspira á modificar grandemente, — perfeccionándola, — la obra mas beneficiosa del hombre: los caminos de hierro. Su autor pertenece, por hoy, á los que creen y marchan. ¿Será menester decir cómo le han acogido los que, por haber creido y marchado, están á la cabeza de las legiones del saber, y ya sin fuerzas, pretenden dar la voz de *alto* á cuantos detrás de ellos caminan?

Y sin embargo, la idea es buena, su fin benéfico, su aplicacion urgente, probable su éxito, sus consecuencias provechosas. A ser parto de un hombre conocido, ya seria uno de los mejores títulos á la gloria; fruto de los estudios de quien á luchar empieza, debe pasar por la celosa aduana de aquellos cuyas obras ha de modificar, y por lo tanto, no es extraño que se estacione y se detenga.

No se crea que exagero. Nuestro compatriota ha andado de pueblo en pueblo, y por cada sonrisa que ha arrancado, ha recogido un centenar de repulsas. Tras de una conferencia con el justamente encumbrado Roberto Stephenson, el Sr. Castro tuvo la mortificacion de oir que su sistema sólo tenia un defecto: el de ser inútil, porque en los ferro-carriles no ocurrian accidentes.

«¡Cómo! le contestó nuestro amigo; ¿y la catás-

trofe de ayer en la línea de Chester? — Bueno, ese es uno. — ¿Y el encuentro de hace cuatro dias sobre el North Eastern? — Son dos.»

Al oir tanta indiferencia en boca del famoso ingeniero, no quedaba mas que un recurso: el novel inventor le saludó respetuosamente. ¿Qué hubiera sentido el célebre padre de ese mismo Stephenson si, al exponer sus ideas atrevidas sobre caminos de hierro, *todos* le hubieran contestado con las mil y una simplezas que hasta de los lábios del mismo Arago salian?

Fuera un despropósito exigir que los hombres cuyos momentos de existencia son preciosos tuviesen oídos para los innumerables inventores de nuestros dias. Sé por experiencia cuán desagradables y ociosas son las discusiones habidas con gentes que por lo general todo lo ignoran en la materia con que sueñan. Pero cuando persona no ajena á la ciencia presenta un sistema acabado, si bien no perfecto; cuando este se funda en hechos irrecusables y se apoya en felices ensayos; cuando su autor solo desea que se repitan, parece increible que hombres que todo lo deben á ideas nuevas maten con su voz autorizada, no la obra insignificante de este ó el otro inventor, sino la noble aspiracion á una mejora necesaria, y hasta la esperanza de un nuevo progreso.

Ahora bien, ¿no es un fenómeno singularísimo que todas las verdades, que todas las grandes ideas hayan tenido que buscar su arrimo en los que entre el vulgo cuentan, y que los doctores les hayan sido en todo tiempo adversos? Semejante paradoja solo puede tener su explicacion en las palabras con que se ha dado principio á este proemio: el amor hácia nues-

tros hijos desconoce la belleza de los del prójimo.

Nuestros progresos en la primera mitad del siglo que corre son en verdad sorprendentes. No hay ejemplo en la historia de actividad intelectual parecida. Mas ¿hemos andado ya todo el camino, ó estamos al comienzo de la jornada? ¿Seguimos siempre acertado rumbo, ó nos aleja á veces esa misma actividad mas y mas del término que nos hemos propuesto? ¿Tocamos á la perfeccion, ó estamos todavía muy léjos de ella? ¿Son ociosos todos los esfuerzos para perfeccionar el órden material, para hacer triunfar la verdad en el órden moral (y asaz lo necesita), ó ahora mas que nunca habrán de redoblarse, para que no se pierda tristemente el fruto de tantos afanes? Apenas á decirlo me atrevo, y sin embargo, ó mi razon me vende, ó estamos en muchos puntos, si no próximos á la barbarie, rozando con la locura.

Las ciencias exactas, y todo cuanto en ellas ha tenido orígen, están, á no dudarlo, á una altura muy halagüeña para nuestro amor propio. Los caminos de hierro y su poderoso auxiliar, el telégrafo eléctrico, han dejado muy atrás los sueños fantásticos de las mas acaloradas imaginaciones. El hombre ha puesto la mano sobre nuevos agentes naturales y sus fenómenos, y aun no hemos vuelto del asombro que nos causa la obra del Todopoderoso. Pero la aplicacion humana carece, y muy mucho, de la sencillez, la perfeccion y la unidad, que son el sello de la obra divina; y esas mismas maravillosas vias, y ese mismo alígero telégrafo, separados hoy, inconexos, irrelacionados, parecen miembros de un mutilado cuerpo, que, si unirse pudieran, formarian un todo lleno de preci-

sion y de armonía, remedo, aunque grosero, de los seres que piensan y que obran.

Para lograr tal perfeccion, hay quien sostiene que basta la intervencion y voluntad del hombre con sus actuales medios, mientras que otros, como el Sr. Castro, buscan la cooperacion de esos agentes naturales, tan dóciles, tan precisos, tan superiores. Los primeros se duelen de que haya quien se atreva á modificar su obra; los segundos luchan, y vencerán con el tiempo. ¿Es posible que haya quien dé por perfectas las vias modernas de comunicacion? Sin analizar sus tarifas absurdas, fuente de donde dimanan un sinfin de artificiales dificultades, de inútiles complicaciones; sin llegar á su administracion, cara, complicada, y fundada, como último recurso, en la mas lamentable desconfianza, todos sienten que no poseen la ilimitada seguridad, que debiera ser su cualidad mas recomendable.

Preveo que, al oirme, toman la pluma los directores, ingenieros é interesados en los ferro-carriles, para ahogarme en guarismos, y demostrar que las probabilidades de muerte son tantas mas cuantas. Enhorabuena; no quiero negar, ni negar pudiera, aunque quisiese, todos esos tantos por ciento; pero ¿hay todavía desgracias? ¿Es posible una catástrofe con centenares de víctimas? Y si una existencia desconocida se halla sin cesar amenazada, y esa existencia puede ser inestimable, puede no tener precio, ¿convendrá poner los medios para alejar todo peligro y hacer cada vez mas remotas las probabilidades de muerte?

El logro de alguna perfeccion no es motivo para

renunciar á mayor grado. De tiempo en tiempo suele derrumbarse una diligencia en nuestras carreteras de la sierra ; ¿qué diriamos del que se opusiese á la construccion de un pretil ó á la reforma de un puente, probándonos que el número de percances es hoy infinitamente menor que en la edad media, y que, reducidos aquellos á un guarismo *comparativamente* insignificante, no habia razon ni pretexto para hacer un nuevo gasto?

Las desgracias que ocurren en las vias férreas son reducidas cuando se comparan con la muchedumbre que por las mismas circula : sumadas en absoluto, no son ciertamente tan despreciables. Desde el año de 1840 al de 1852 hubo en los caminos de hierro ingleses, segun los datos oficiales, 1,828 muertos y 2,648 heridos, de los cuales eran viajeros 441 de los primeros, y 1,861 de los segundos.

Llamo además, y muy particularmente, la atencion del lector sobre la primera parte del capítulo x del presente libro. La estadística de muertos y heridos en los caminos de hierro es oscura por demás en todos los países, y sin embargo, en los datos presentados por el Sr. Castro se vislumbrará que suceden las desgracias bastantes á fijar la reflexion de todo hombre pensador y á inspirar un deseo vehemente de evitarlas. No hay quien niegue la mayor seguridad de los ferro-carriles, *comparativamente* hablando, y admito gustoso los cálculos para probarla, haciendo comprender al viajero las muchas probabilidades que tiene de llegar sano y salvo al término de la jornada; pero no puedo llevarlos en paciencia cuando sirven para sostener la inutilidad de utilísimas mejoras y necesa-

rios adelantos. Todavía muere anualmente una persona por cada cincuenta kilómetros de via en explotacion, y este guarismo no es tan despreciable para que se diga que el sistema actual de señales es inmejorable. La electricidad puede ya suministrar los medios necesarios para la seguridad de las vias férreas, y el proyecto objeto de estas líneas disminuiria hoy muy notablemente el número de siniestros, que tanto nos alarman y conmueven.

No es esto decir que el sistema del Sr. Castro es, tal cual se presenta, perfecto. Léanse las palabras mismas con las cuales termina el autor el último capítulo de su obra. Sin embargo, el Sr. Castro ha dado la primera solucion práctica de un problema que apenas se acababa de proponer; y tanto le ha estudiado, y de tal modo ha resuelto todos sus casos, que bien merece la consideracion de cuantos por ilustrados se tengan, el apoyo de los ingenieros y los honores de una aplicacion algo lata.

Tal vez se repare en algun órgano que deba perfeccionarse, tal vez se abulte este ó el otro inconveniente; tengo la conviccion, porque las verdades en que se funda son incontrovertibles, que sus imperfecciones desaparecerán una vez puesto en práctica. Esta,— fuente de todas las ciencias exactas, — es la que enseña, la que crea y perfecciona. Adoptado que sea un conjunto de señales eléctricas tan completo como el descrito en el capítulo XII de esta obra, las modificaciones seguirán introduciéndose de dia en dia, y — perdóneseme la osadía — presiento como una realidad muy próxima, la sustitucion de los alambres que se proponen por los carriles de la via. Los experimentos

de Palagi abren ancho campo á esta esperanza, y el dia en que se realizara, ¡cuánta no seria la baratura y la conveniencia del sistema! Cuán grandes los resultados! Cuán admirables esas admirables grapas de hierro, destinadas por la Providencia á enlazar de un modo indisoluble pueblo con pueblo, hermanos con hermanos!

Objeto de tanta monta no puede, sin embargo, conseguirse desde el primer ensayo, y este, como todos los adelantos humanos, habrá de pasar por esa série de obstáculos secundarios, cuya importancia disminuye á medida que se adelanta por el camino emprendido. Por de pronto es el mayor de aquellos el gasto que exigiria la adopcion de semejante sistema de señales. Esta, y no otra, es la causa de la oposicion que han hallado en los directores de caminos de hierro todos los proyectos propuestos hasta el dia para evitar las desgracias que ocurren en aquellos. Inútil por demás es predicar filantropía cuando el hombre cree que sus intereses se oponen al ejercicio de virtud tan sublime; pero no será así si se prueba lo contrario, haciendo sentir á la miserable y ruin inteligencia humana hasta qué punto desconoce las magníficas armonías de la obra del Todopoderoso; armonías que, si no se muestran mas clara y patentemente, es por el cúmulo de sofismas y de locuras con que el hombre procura oscurecerlas desde hace mil y mil años.

En la cuestion de que me ocupo, como en todas, por fortuna el interés material bien entendido está de acuerdo con lo que el sentimiento moral reclama. Raro es el siniestro que ocasiona la muerte en un ferrocarril, que no traiga consigo pérdidas materiales de

mucha consideracion. Estas pérdidas pueden ser de tiempo, de dinero, inmediatas ó lejanas, y como tengo el convencimiento de que la suma de todas ellas compensará con creces los desembolsos que se hagan para evitarlas, permítaseme que entre en algunos pormenores, si bien humildes, no del todo fuera del caso.

El coste del establecimiento del nuevo sistema de señales eléctricas seria, poco mas ó menos, el siguiente:

2,000	metros de alambre galvanizado para telégrafos. Rs. vn.	660
36	postes bajos de 1 m. 20 de altura.	288
2	id. altos.	40
72	aisladores, cubiertos de goma elástica vulcanizada.	288
72	porta-aisladores de hierro.	144
2	tensores dobles.	60
	Coste de cada metro de via. Rs. vn.	1,480

La proteccion de cada paso de nivel exigiria 20 metros de alambre, cuatro postes cortos, cuatro tensores sencillos, ó sea un gasto de 140 rs.; la de los cambios de agujas costaria unos 750, cada torna-via 300, y cada guarda unos 20 rs. vn.

Ahora veamos el costo de todo lo necesario para la seguridad de un tren ó de una locomotora:

Una varilla, con su comunicador, aislada sobre soportes de madera. Rs. vn.	120
Una pila.	240
Un aparato de alarma.	400
Un inversor.	180
Una polea, con su correa de gutta percha.	150
Alambre vestido y gasto de colocacion.	110
Total. Rs. vn.	1,200

Supóngase que para el servicio de cada 100 kilómetros de via se necesitan 50 locomotoras, cada una

con su pila, y además otras 50 para repuesto y varios usos; que habrán de protegerse 40 pasos de nivel, 40 cambios de agujas y obras de arte, 30 torna-vias, y se verá palpablemente que el nuevo sistema puede plantearse por unos 2,500 rs. cada kilómetro, ó sean 250,000 rs. para cada seccion de 100 kilómetros.

Establecido así el presupuesto de gastos, y suponiendo que cada ocho años habria de renovarse el material por completo, podria decirse que el sacrificio anual necesario para proteger una línea de 100 kilómetros quedaba reducido á las cantidades siguientes:

Renovacion del material.	Rs. vn.	31,250
Entretenimiento de 100 pilas, de las cuales nunca funcionarian 50 á la vez.		36,500
Aumento en el personal del telégrafo.		15,000
Total. . .	Rs. vn.	82,750

Es decir, que la seguridad de una línea férrea costaria 820 rs. anuales por kilómetro. Examinemos un poco lo que, en cambio de este desembolso, podriamos prometernos.

No insistiré en la salvacion de algunas vidas; tampoco recordaré la reduccion del personal, si bien aseguro que la economía por este concepto seria mucho mayor que el gasto; solo me limito á suplicar á los directores de cuantos caminos de hierro sostienen hoy un tráfico importante, que abran sus libros y sumen las partidas pagadas al cabo de un año por accidentes de menor cuantía, de esas averías constantes y ordinarias, tanto en la via como en el material, producidas por errores en las señales y equivocaciones de los empleados; que calculen el mayor gasto de combustible y otros aumentos innecesarios por detencion de

los trenes en las estaciones para esperar órdenes y avisos; que se hagan cargo del mayor desarrollo ó del mejor y mas económico arreglo del servicio, natural consecuencia de un sistema seguro de señales eléctricas, y en seguida que resuelvan si estas y otras ventajas que omito, llegarian á compensar el valor de una mejora que ofrece tantas probabilidades de éxito. Y no olviden estos señores que un solo choque, de aquellos que destruyen una parte del material, ocasiona en un dia mayor pérdida que el coste de las señales eléctricas durante algunos años.

De propósito no he querido tomar en cuenta la reduccion del personal que habria de seguir, tarde ó temprano, al establecimiento del sistema propuesto por el ingeniero Castro, porque este es uno de los caballos de batalla predilectos entre los que le han juzgado. «¡Cómo! —dicen— ¿quereis fiar la seguridad de los trenes á máquinas y aparatos expuestos á descomponerse, que, haciendo mas confiados á los empleados de una línea, solo aumentarian el catálogo de los desastres?»

En primer lugar, el inventor no suprime por de pronto una sola señal, un solo empleado, y en prueba de ello, en el presupuesto que acabo de presentar se supone aumento por este concepto. Su sistema seria una precaucion mas, hasta que el tiempo y la experiencia convencieran á los mas rebeldes. En segundo lugar, las probabilidades de desarreglo deben ser excesivamente remotas, porque el sistema tiene sus medios de verificacion constantes. En tercer lugar, si la vigilancia de un empleado, sujeto á distraerse ó inutilizarse, es superior y preferible á los aparatos semo-

vientes, desterremos de una vez las mil invenciones ingeniosísimas, pero tambien sujetas á descomponerse, que de algunos años á esta parte se introducen en las máquinas y en los mismos caminos de hierro, con aplauso general y tan inapreciables resultados.

Mas, por ventura, ¿cuándo faltaron toda clase de argumentos al proponerse una innovacion atrevida y provechosa?

Yo no puedo menos de dar muchísima importancia á los trabajos del Sr. Castro; porque, habiendo asistido en todos sus detalles á los ensayos verificados en la línea del Mediterráneo, en mi calidad de su ingeniero en jefe, veo en ellos el medio único para establecer ferro-carriles de una sola via en comarcas que no podrian sostener los gastos de los de via doble; porque, como consecuencia de su adopcion, se deduce la multiplicacion de empresas tan bienhechoras, la posibilidad de aumentar el tráfico en las vias sencillas, la baratura de construccion y la baja natural de los transportes; porque contemplo centuplicada la seguridad de las actuales líneas con economía notable; porque siento que merece tentarse la salvacion de vidas, que muy bien pueden ser preciosas para un pueblo ó para toda la humanidad, y finalmente, porque me persuado que, una vez adoptadas las señales eléctricas, llegaria, segun todas las probabilidades, un dia en el cual se simplificasen hasta el punto de formar con las demás partes de los caminos de hierro un todo tan enlazado, tan inseparable, como son hoy la brújula y la nave.

Para satisfacer sus legítimas aspiraciones, el autor, no satisfecho con haber dado forma á un buen siste-

ma de señales eléctricas, se ha dedicado, durante su permanencia en el extranjero, á estudiar todas las teorías y las principales aplicaciones de la electricidad, de ese ramo del saber, que, ocupando hace poco reducidísimas páginas en los tratados de física, necesita hoy de muchos volúmenes para explicar sus maravillas, y amenaza sustituir á otros agentes naturales, que han regenerado en pocos años al mundo. El Sr. Castro ha creido necesario exponer en resúmen el fruto de sus estudios y observaciones, pensando con acierto que sin nociones preliminares no seria fácil comprender los diferentes sistemas, compararlos entre sí, hacerse cargo de las dificultades que hay que vencer, ni persuadirse de los sólidos cimientos sobre los cuales ha levantado su sistema.

En los primeros capítulos de la obra se presenta el cuadro de los progresos de la ciencia y la recopilacion de sus principales leyes y fenómenos bajo la forma de una reseña histórico-elemental; forma elegida con sumo tino, porque ameniza y hace menos monótona la lectura de obras de esta clase.

Los ocho capítulos que forman la primera parte de la obra contienen todo lo que cuadraba al propósito de su autor, quien, por no haberse propuesto escribir un tratado de electricidad, ha tenido que pasar ligeramente sobre muchas de sus aplicaciones, suprimiendo otras que, cual las electro-químicas y electro-médicas, se apartaban demasiado de su objeto. Solo ha sido mas difuso en todo lo que tiene relacion con el telégrafo eléctrico, porque, además de ser este hoy la principal proteccion de los caminos de hierro, tiene suma analogía con todo cuanto el Sr. Castro propone.

La segunda parte comienza con una descripcion sucinta de los caminos de hierro, la cual no podia suprimirse, por muy ligera que fuese, toda vez que, si es necesario conocer las verdades sobre las cuales se apoya el nuevo sistema, no es menos indispensable tener alguna idea del terreno sobre el cual se ha de establecer. Nada se ha olvidado en este capítulo que pudiera hacer falta para comprender hasta qué punto pueden proteger las señales eléctricas todas las numerosas y complicadas partes de una via férrea. Hasta las personas entendidas le leerán con gusto y aprovechamiento.

Siguiendo el órden rigurosamente lógico que se propuso el Sr. Castro, pasa á averiguar, en el capítulo x, cuáles pueden ser los males que se han de corregir, ó de cuántas clases son y serán los accidentes en los caminos de hierro. Semejante averiguacion ha dado lugar á un trabajo prolijo y enojoso, pero que tiene su mérito. El cuadro que para resumir se presenta en la obra es completo; y no es de extrañar que, estudiados tan nimiamente todos los casos posibles de desgracia, se hayan podido detallar en el capítulo xi los diferentes medios empleados hasta aquí para evitarlos por completo.

Abierto así el campo, y planteado el problema con tanta copia de datos, el Sr. Castro expone confiadamente, en el capítulo xii, el sistema que lleva su nombre. Ya he dicho terminantemente mi opinion acerca del mismo, y conocida cuánta es la confianza que me inspira, puedo atreverme á indicar que algunas de sus partes reclaman modificaciones de importancia.



Repito, sin embargo, lo que ya he dicho: la práctica sola fijará de una vez dichas modificaciones, y el estado hoy de la ciencia nos induce á esperar tantas y tales, que muchos de los órganos hoy necesarios queden suprimidos, para dar al sistema mas unidad, mayor sencillez y una seguridad inapreciable.

Los capítulos XIII y XIV son la exposicion de cuanto se ha propuesto hasta el dia para evitar los accidentes en los caminos de hierro por medio de la electricidad, así como el XV y último está destinado á comparar estos sistemas entre sí y con el del Sr. Fernandez de Castro.

En medio del imparcial criterio con que nuestro amigo juzga y se juzga, se advierte alguna amargura, que no ha podido reprimir. Pocos serán los que no lean con interés la historia del sistema Guyard, y pocos dejarán de conocer la sencilla veracidad de las palabras del Sr. Castro, sacando de ellas las consecuencias que tan patentemente se desprenden. En esto no puede menos de interesarse nuestro amor propio nacional, siendo un deber de todos alentar al autor para que idea tan feliz, nacida en nuestro suelo, no muera, como otras muchas, bajo el peso de nuestra apatía y nuestra indiferencia.

Los gobiernos todos que se han sucedido desde 1853 pueden presentar como uno de sus mejores títulos la proteccion concedida á una idea tan útil. No teniendo línea alguna perteneciente al Estado, en donde poder establecer el sistema de señales eléctricas, han hecho todo cuanto estaba á su alcance, mandando al autor en comision al extranjero y dando hoy á la estampa el resultado de sus trabajos. Tributémos-

les todos el reconocimiento digno de tan ilustrado proceder, y para que no sea estéril amparo tan laudable, recordemos al Sr. Castro que—*Nobleza obliga.*

Madrid, 9 de noviembre de 1857.

MELITON MARTIN.

INTRODUCCION.

El objeto principal de esta obra es dar á conocer las aplicaciones de la electricidad á los caminos de hierro, y particularmente los diferentes sistemas de señales que se han propuesto para evitar accidentes en ellos; pero antes de describirlos, hemos creido necesario dar una idea de la electricidad y sus aplicaciones en general, presentando la ciencia bajo las diversas fases que la han hecho tomar Volta, Oersted, Faraday, Arago y otros sábios, descubriendo los fenómenos de la pila, del electro-magnetismo y de la induccion. Al resumir en un número de páginas muy limitado un ramo de la física tan extenso, que apenas bastan ya tratados especiales para exponer sus principios y aplicaciones, no hemos pretendido hacer un tratado didáctico, porque encerrados en límites demasiado estrechos, este trabajo, incompleto para unos, hubiera sido inútil para otros, y difícilmente conseguiriamos el objeto principal que nos proponemos: el de preparar á los lectores menos versados en la física, para que puedan juzgar del valor de los sistemas que vamos á describirles, y que al leerlos puedan conocer el uso de cada una de sus partes, sin acudir á los tratados especiales en busca de la explicacion de los fenómenos que por medio de ellas produce la electricidad; por eso, al narrar los descubrimientos culminantes que se han

ido haciendo con el estudio de los fenómenos eléctricos, hemos expuesto las nociones fundamentales de la ciencia.

Nos hemos propuesto tambien hacer menos difusas las descripciones, reduciéndolas á la enumeracion de lo que realmente constituya la idea del inventor, y con ese objeto, en la reseña histórica que vamos á trazar de la electricidad, nos detendrémos en describir los generadores eléctricos de que tenemos noticia, y aquellas partes esenciales en cualquier aparato ó sistema fundado en la electricidad; porque de esa manera no habrá mas que nombrarlas cuando se hable de ellas, y se evitarán repeticiones, que molestan inútilmente la atencion del que ya sabe, y dificultan las explicaciones, haciéndolas parecer mas complicadas, á los que no están familiarizados con la ciencia.

Esperamos tambien que la lectura de esta Reseña inspirará confianza en el sistema que proponemos para evitar los accidentes en los caminos de hierro; porque hará ver que son infalibles los principios de la ciencia; que los descubrimientos con que se ha enriquecido esta diariamente, confirman los resultados que se deben obtener del que sirve de base al invento; que, si bien la electricidad se considera todavía como un flúido imponderable, el hombre ha llegado á posesionarse de él en términos, que obtiene sus fenómenos cuando quiere, y se sirve de ellos á su albedrío. ¿Quién podrá dudar que una chispa eléctrica detenga dos trenes que van á precipitarse el uno sobre el otro, cuando vea que esa chispa, rayo destructor en la atmósfera, inútil juguete há poco en los gabinetes de física, ha llegado á ser el agente mas dócil y mas útil de la época? Quién, despues de haberla visto retenida por un hilo metálico, lanzarse en el espacio, atravesar los mares, recorrer inmensas distancias para trasmitir instantáneamente

la palabra, no comprenderá que es el único mensajero capaz, por su velocidad, de advertir el peligro en los caminos de hierro? Quién será el que conozca los terribles efectos de la pila fundiendo el platino, evaporando el hierro instantáneamente, y dude de que puede inflamar una materia explosible? Quién, teniendo noticia del experimento del canal de la Mancha, y sabiendo que la chispa salida de una pila en Calais lanza el proyectil de los cañones de Douvres, negará que puedan echarse, con su auxilio, los frenos de dos, de diez, de cien carruajes?

Cuando vemos esto, cuando consideramos que casi todo se ha conseguido en pocos años, cuando la evidencia nos obliga á bajar hoy la cabeza ante lo que creiamos imposible ayer, es fuerza tener confianza en el porvenir, y sin separarse de la prudente reserva que distingue al hombre verdaderamente instruido, no mirar con indiferencia los esfuerzos que tiendan á arrebatar nuevos secretos á la naturaleza, ó á extender el círculo en que se aplican los principios descubiertos. Por extrañas que parezcan estas aplicaciones, por distantes que se hallen de las que ya conocemos, no pueden lógicamente desecharse si están fundadas en un principio exacto. Examínense los fenómenos de la electricidad, léase la historia de sus aplicaciones, y dígase si no hay que esperarlo todo de ese agente misterioso, cuya influencia parece extenderse desde las inexplicables funciones de la vida y de la vegetacion hasta la mas insignificante de las reacciones químicas.

———

RESEÑA HISTÓRICO-ELEMENTAL

DE LA

ELECTRICIDAD.

CAPITULO PRIMERO.

ELECTRICIDAD ESTATICA.

Se llama electricidad á la ciencia que trata del estudio de los fenómenos producidos, segun la opinion general, por un flúido imponderable, que ha recibido tambien el nombre de *electricidad*. Esta denominacion de imponderable, ó de imponderado, que con mas propiedad le dan algunos autores, indicaria, no solo que el flúido eléctrico no ha podido pesarse, sino que es imposible considerarlo aisladamente, en un estado tangible, como cuando nos damos razon del hierro, del agua ó del aire. Para formarse idea de la electricidad, hay que examinar las modificaciones que produce en la materia de los cuerpos en que se manifiesta, ó mejor dicho, las propiedades que les comunica, distintas de las que poseen cuando no están electrizados; hay que concebir, en fin, un cuerpo impalpable, no susceptible de ser aislado. Los físicos han admitido que los fenómenos eléctricos se deben á la presencia de un flúido especial, porque el estudio de estos fenómenos y el de los cuerpos en que se presenta, han hecho ver que no puede atribuirse la causa á la sustancia propia de ellos, como sucede tambien con el calor y la luz. Nosotros adoptarémos esta teoría en el curso de la presente obra, porque no es posible hacer otra cosa en el estado en que se halla la ciencia; pero debemos advertir que existe otra, sostenida por Grove y aceptada por varios físicos eminentes, que consideran la electricidad como una *fuerza* que modifica la materia, y no como la materia misma en un estado imponderable.

No se crea por eso que vamos á construir sobre cimientos falsos un edificio que puede venir á tierra al menor soplo. En el estudio de las ciencias físicas, el conocimiento de los hechos forma, por decirlo así, la parte principal, la base sobre la cual deben apoyarse todas las deducciones que han de conducir al descubrimiento de nuevos hechos; y si bien la teoría es muy importante, no es precisamente porque da la verdadera explicacion de los fenómenos, cosa que no es dado tal vez al hombre saber nunca, sino porque permite agrupar los hechos en nuestra mente, los liga unos á otros, y ayuda á sacar consecuencias mas ó menos exactas, pero siempre provechosas. Así pues, sea la que quiera la teoría, ó mas bien la hipótesis, con que nos expliquemos un hecho, la creemos útil, indispensable, y no debemos rechazarla sino cuando hayamos encontrado otra mejor con que sustituirla. Será mejor la que nos explique mayor número de hechos, sin recurrir á nuevas inducciones; la que mas se aproxime á demostrar la unidad y sencillez de las obras del Criador. Por ambas razones creemos muy superior á otra la teoría que considera la electricidad, de la misma manera que el movimiento, como una fuerza; pero como es muy poco conocida todavía, como la mayor parte de los físicos no la han admitido aun, y como casi todas las obras están escritas con arreglo á la opinion contraria, nos reservamos tratar este punto en otro trabajo especial, y admitirémos en este que la electricidad puede definirse con Ganot de la manera siguiente: La electricidad es un agente físico poderoso, cuya presencia se manifiesta por atracciones y repulsiones, por apariencias luminosas, conmociones violentas, descomposiciones químicas, y otra multitud de fenómenos; y que se desarrolla, por la frotacion, la presion, las acciones químicas, el calor, el magnetismo y la electricidad misma.

Desde muy antiguo se conocen algunos de los fenómenos de la electricidad, puesto que ya los griegos, seiscientos años

antes de Jesucristo, habian observado que el succino ó ámbar amarillo adquiria, cuando se frotaba, la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, por lo cual le dieron el nombre de *electron* (de *elkno*, yo atraigo), que ha servido de etimología á la palabra con que se nombra tambien la ciencia que trata de este y otros fenómenos, que parece deben su orígen á la misma causa.

Esta propiedad de atraer, que en el estado actual de nuestros conocimientos no debe confundirse con la que tienen los imanes, ni con la que mas tarde verémos en los electro-imanes, permaneció sin utilizarse ni dar lugar á mas descubrimientos, que los de hallar la misma particularidad en el azabache, en el ágata, en la turmalina y en otra porcion de cuerpos, cuyo catálogo publicó el Dr. Gilberto á fines del siglo XVI, en su tratado *Sobre el iman*, hasta que el Dr. Wall hizo, á mediados del siglo XVII, el de la chispa eléctrica, frotando con un pedazo de franela un gran cilindro de succino, al cual aplicó despues el dedo, obteniendo por primera vez la luz azulada y el ruido seco que la caracterizan. Algunos atribuyen este descubrimiento á Boyle, el primero que tuvo la idea de probar la accion de la electricidad sobre una aguja metálica no imantada, y la de limpiar y calentar los cuerpos antes de frotarlos; y otros á Otto de Guericke, que se valió, para desarrollar la electricidad, de un globo de azufre atravesado por un eje que hacia girar con la mano; razon por la cual se le designa como el inventor de la máquina eléctrica.

A los interesantes trabajos de Hawksbee, en 1709, siguió el importante descubrimiento, hecho en 1727 por el Doctor Stephen Grey, que produjo la division de los cuerpos en *idio-eléctricos* y *aneléctricos*. Son los primeros aquellos que desarrollan y no conducen la electricidad, y los segundos, por el contrario, los que conducen la electricidad, y no la manifiestan sino cuando se les pone en contacto con un cuerpo idio-eléctrico en que se ha desarrollado, al mismo tiempo que se evita que estén en comunicacion con otros de su especie.

No concuerdan los autores en la relacion del hecho que dió lugar á este descubrimiento; pero adoptarémos con Pouillet una version, que sobre ser la mas admitida, pone de manifiesto otra propiedad importantísima de la electricidad. El Dr. Grey, despues de haber frotado un tubo de vidrio abierto por ambos extremos, quiso ver si obtendria los mismos resultados cerrando el tubo con un tapon de corcho. Al hacer el experimento, observó con admiracion que el corcho se hallaba electrizado, cuando no habia podido conseguirlo nunca frotándolo directamente. Una varilla metálica, clavada en el tapon, se electrizó; lo mismo sucedió con otra de mayor longitud; y el hábil observador no se cansaba de repetir sus pruebas. Viendo que no podia en su gabinete usar varillas bastante largas, imaginó subir al primer piso y colgar del tubo electrizado un hilo metálico que bajase hasta el suelo; frotó el tubo, y Welher, uno de sus amigos, presentó al extremo del alambre cuerpos ligeros, que fueron atraidos vivamente. Repitió el experimento desde el segundo, desde el tercer piso, y siempre con el mismo éxito; iniciándose así la propiedad, que mas tarde ha demostrado la práctica, de que la distancia á que se trasmite la electricidad puede ser infinita, si el conductor se halla perfectamente *aislado*, es decir, separado de otros cuerpos buenos conductores ó aneléctricos.

El descubrimiento de Grey produjo naturalmente la division de los cuerpos en dos grupos, á los cuales pertenecen todos los de la naturaleza; razon por la cual propuso Desaguillers distinguirlos en *eléctricos* ó *no conductores*, y *no eléctricos* ó *conductores;* pero, si bien la conductibilidad eléctrica se debe á una causa permanente, que es la naturaleza de su sustancia, depende tambien de otras varias cuya influencia es difícil medir, y entre las cuales debe contarse la mayor ó menor cantidad de humedad de que se hallan impregnados; así pues, seria mas exacto llamarlos *buenos conductores* ó *malos conductores*, porque no hay uno solo que sea absolutamente idio-eléctrico. Los cuerpos que conducen menos la elec-

tricidad son : la goma laca, la seda, el vidrio, las resinas, la gutta-percha, la goma elástica ; y se llaman cuerpos *aisladores*, porque siendo el aire seco un mal conductor y la tierra, por el contrario, eminentemente aneléctrica, si ponemos un cuerpo electrizado sobre uno de los dichos *aisladores*, el cuerpo conserva largo tiempo su electricidad. Los metales son los mejores conductores que se conocen, y lo prneba el que un alambre de muchas leguas de longitud se electriza casi instantáneamente en toda su extension cuando se aplica un cuerpo electrizado á nno cualquiera de sus puntos, y conserva la electricidad que adquiere de este modo, si como se ha indicado antes, está rodeado de una atmósfera seca y sostenido por sustancias aisladoras. Hay que advertir, sin embargo, que no se consigue nunca un aislamiento perfecto, y que mientras mas fuerte es la carga ó tension eléctrica, mas precancion hay que tener en la eleccion de la sustancia de que se hagan los aisladores, en su forma y en sus dimensiones. La pérdida de la electricidad disminuye gradualmente á medida que disminuye la tension eléctrica, y puede considerarse como nula si se da á los aisladores una longitud suficiente, que segun Coulomb, debe ser proporcional al cuadrado de la tension eléctrica del cuerpo que se quiere aislar. Con esas precauciones el aislamiento de la goma laca es casi perfecto; pero el vidrio, que es higrométrico, necesita secarse á menudo.

Al hacer el experimento de la atraccion de un cuerpo ligero por medio de otro electrizado, se observó que despues que el contacto de este le habia prestado electricidad, lo rechazaba; y notándose tambien que si el cuerpo electrizado era una barra de vidrio, el cuerpo ligero rechazado por ella era vivamente atraido por otra de resina, igualmente electrizada; Symner, segun unos, y Dufay, segun otros, en 1733 sacaron la consecuencia de que existian dos electricidades diversas en su orígen y por sus efectos; que ambas estaban equilibradas en todos los cuerpos, cuando estos se hallan en su estado natural; que cuando por un medio cualquiera se rompe este

equilibrio, se manifiesta en unos una electricidad semejante á la de la barra de vidrio, y en otros á la de la barra de resina, de donde viene el nombre de *electricidad vítrea*, que se ha dado á la una, y *electricidad resinosa*, que ha recibido la otra.

Franklin y otros físicos han tratado de explicar el fenómeno con una sola electricidad, suponiéndola unas veces en exceso y otras en defecto; y de aquí la denominacion de *electricidad positiva*, que han dado á la vítrea, y de *electricidad negativa* á la resinosa.

Sea cualquiera la teoría que se adopte, es tan oscuro cuanto se ha dicho sobre el orígen de la electricidad, que nos parece inútil dar á conocer las hipótesis de Newton, del abate Nollet y demás que han tratado este punto; hacemos solo mencion de las de Symner y Franklin, porque la primera es la mas admitida, y de la segunda se han tomado los nombres de electricidad positiva y negativa, que se usan generalmente. De suerte que hasta en esta circunstancia se revela que todo es convencional, y que no debemos ver en dichas hipótesis sino el medio de que todos se expliquen de una manera uniforme los fenómenos eléctricos. Estos son siempre los mismos, y pueden enunciarse sin optar por ninguna de las dos teorías, diciendo que *las electricidades de un mismo nombre se repelen, y las de nombre diferente se atraen.*

Otra de las propiedades de la electricidad, de que debemos hacer mérito, es la de comunicarse mas ó menos fácilmente, segun la conductibilidad de los cuerpos y la extension de su superficie. Esta última circunstancia debe tenerse muy presente, porque para que un cuerpo se desprenda de casi toda su electricidad, hay que ponerlo en comunicacion con una superficie mucho mayor que la suya; ahora bien, como la tierra es infinitamente grande en comparacion de los cuerpos que podemos electrizar, resulta que uno cualquiera de ellos, puesto en comunicacion con el suelo, pierde todo el flúido que contiene; así es que aquella se considera como el *depósito comun* de la electricidad.

Cuando se ponen en *contacto* los cuerpos malos conductores, no pierden electricidad sino en la extension de las superficies que se tocan; los buenos conductores la adquieren ó la pierden en toda la extension de su superficie y los cuerpos intermedios entre los idio-eléctricos y los aneléctricos la toman ó la dejan al rededor de los puntos de contacto, en una extension tanto mas grande, cuanto mejores conductores son.

La electricidad no necesita siempre del contacto; se comunica tambien *á distancia*, precipitándose sobre los cuerpos en razon de su conductibilidad; pero en este caso presenta el curioso fenómeno de la chispa, cuyo descubrimiento hemos mencionado; fenómeno interesantísimo, y que el temor de detenernos demasiado nos impide tratar con la extension que merece; pero que no podrá menos de ocuparnos algunos instantes.

Las mayores cargas eléctricas acumuladas en los cuerpos, no dan nunca una apariencia luminosa mientras está establecido el equilibrio y el flúido permanece en reposo, de suerte que la primera condicion de la luz eléctrica, que así se llama la chispa mencionada, es el movimiento de los flúidos ó el rompimiento del equilibrio; pero esta condicion, necesaria siempre, no es siempre suficiente, y es preciso que la tension de los flúidos, es decir, su tendencia á reunirse para equilibrarse, sea muy considerable. Por ejemplo, la electricidad de una máquina ordinaria, que luego explicarémos, no da luz sensible cuando pasa á la tierra por un hilo metálico, mientras que, por el contrario, una máquina poderosa puede rodear de una aureola brillante un alambre de hierro de 15 ó 20 metros de largo en comunicacion perfecta con la tierra; y debe estar en comunicacion perfecta, porque el paso de la electricidad se verifica, como hemos dicho, en razon de las superficies.

La tension necesaria para la produccion de la luz depende tambien esencialmente del estado, de la forma y de la

conductibilidad del medio en que se mueven los flúidos; así es que trasmitiéndose estos por una cuerda de cáñamo, no producirán una luz comparable á la que darian recorriendo un alambre metálico, aunque en el primer caso fuera la tension mucho mayor.

La distancia á que puede sacarse la chispa de un cuerpo electrizado depende de la conductibilidad de su sustancia, de la extension de su superficie y del espesor de la capa eléctrica de que está cargado; porque la única condicion para que parta la chispa es, que la tension eléctrica pueda vencer la resistencia del aire; razon por la cual en los cuerpos angulosos y terminados en puntas, la electricidad, como verémos despues, se descarga espontáneamente, por muy ligera que sea la tension del flúido; por el contrario, en los cuerpos de formas redondeadas se necesitan cargas muy fuertes para que la chispa parta espontáneamente; pero basta presentarles un conductor que comunique con la tierra, para que se ejerza al momento una accion por influencia (1); es decir, que el flúido libre del cuerpo electrizado atraiga al de nombre contrario que se halla combinado en la tierra, y acumulándose en razon á la extension de las superficies, parta la chispa, venciendo la resistencia del aire, que comprime una y otra superficie.

Cualquiera que sea el número de interrupciones pequeñas que tenga un conductor, se obtendrá en todas la chispa eléctrica, siempre que el flúido tenga bastante tension para vencer la resistencia del aire en la mayor de ellas; si bien verémos, cuando tratemos de la electricidad producida por la induccion, que no siempre sucede lo mismo; fenómeno digno de estudiarse para establecer la diferencia entre la electricidad que proviene directamente de la frotacion, que es la que nos ocupa en este momento, y la que llamamos de induccion por las razones que verémos á su tiempo.

(1) Véase lo que en las páginas 40 y siguientes decimos acerca de la electricidad por influencia y de las electricidades disimuladas.

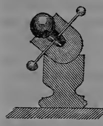
La luz eléctrica desarrolla indudablemente cierta cantidad de calórico, puesto que muchas veces produce los efectos del fuego, y como tambien tendrémos ocasion de ver mas adelante, los supera y se convierte en uno de los agentes mas poderosos de la química. Una bujía recien apagada se enciende en el momento en que se hace partir una chispa eléctrica, teniendo la mecha en el espacio intermedio; puede inflamarse el éter, el alcohol, la pólvora y los gases detonantes cuando se disponen convenientemente las interrupciones en que ha de saltar la chispa; esta funde los metales y evapora algunos que resisten á la accion del fuego fuerte, como el oro; verificándolo con tal rapidez, que cuando se presenta un hilo de seda cubierto de oro á la accion de una chispa enérgica, el oro se volatiliza y la seda queda intacta.

Cuando lo que se quiere inflamar es un gas ó un líquido, se emplea el aparato representado en la figura 1.ª, conocido con el nombre de *pistolete de Volta*. Este consiste en un vaso de metal, que se cierra con un tapon de corcho; un alambre, terminado por dos bolas pequeñas, atraviesa del exterior al interior, sin tocar las paredes, con cuyo objeto se le hace pasar por un tubito de vidrio, al cual se hace adherir con lacre; frente á la bola interior, y á una distancia de dos ó tres milímetros, suele haber otra bola, que comunica con las paredes de la botella, y esta con la tierra por un medio cualquiera; de suerte que acercando la bola exterior á un cuerpo electrizado capaz de producir una chispa, esta pasa por el alambre, atravesando el gas de que está lleno el pistolete, para precipitarse á la tierra por la otra bola. Si el gas es detonante, como por ejemplo una mezcla de hidrógeno y aire atmosférico, se inflama al partir la chispa entre las dos bolas, y el tapon es lanzado con un ruido y una fuerza proporcional á la cantidad y calidad del gas empleado. Si, en vez de un gas, se introduce en el pis-


Fig. 1ª.

tolete un líquido que no produzca, á la temperatura ordinaria, vapores capaces de inflamarse, como sucede con el alcohol, hay que tener la precaucion de que la chispa salte en la superficie misma del líquido.

Para inflamar la pólvora y otras sustancias sólidas puede usarse el aparato de la figura 2.ª, llamado *morterete eléctrico*, que se emplea tambien en los gabinetes de física para probar la expansion de los gases. Consiste en un mortero pequeño de una materia poco conductora, como el vidrio ó el marfil, cuyas paredes están atravesadas por dos alambres, terminados en punta, á muy corta distancia uno de otro, en el interior del morterete; como el pistolete de Volta, se cierra herméticamente el mortero con una bola de madera, que hace partir la explosion tan luego como se inflama el cuerpo encerrado en la capacidad interior, y esto se consigue poniendo en comunicacion con la tierra el anillo unido exteriormente á uno de los alambres, y acercando al cuerpo electrizado la bola en que termina el otro.


Fig. 2.ª

Como verémos mas adelante, la inflamacion de la pólvora puede obtenerse directamente, sin el auxilio del mortero eléctrico, preparando convenientemente unos petardos, de que darémos á su tiempo una descripcion detallada.

Tan importante como los anteriores descubrimientos es el de la *botella de Leyden*, que hizo Muschembroeck en 1746, y cuya primera idea se debe, segun algunos historiadores, á Von Kleist, que tuvo la de emplear en sus experimentos una redoma provista de un hilo metálico, que penetraba libremente en su interior.

Para comprender bien la importancia de este sencillo aparato, y poder reducir su descripcion á muy pocas palabras, dirémos antes algunas sobre la *electricidad por influencia*, cuyos fenómenos fueron observados antes que nadie por los padres misioneros de Pekin, que segun Arago, no los hicieron

conocer en Europa hasta 1755, cuando ya Canton habia tratado de ellos en una memoria leida en la Sociedad Real el 6 de diciembre de 1753. Wilke y Œpinus, á mediados del siglo XVIII, han sido los que mas han hecho adelantar esta parte de la ciencia.

Hemos visto que los flúidos eléctricos se repelen cuando llevan el mismo nombre y se atraen cuando tienen nombre diferente; estas atracciones y repulsiones se verifican, no solo con los flúidos libres y ya descompuestos, sino que se ejercen tambien sobre los flúidos combinados ó en equilibrio que existen en todos los cuerpos. De aquí resulta *que un cuerpo conductor puede, sin perder ni recibir electricidad, constituirse en un estado eléctrico particular*, que proviene de la causa actuante á que está sometido, y cesa con ella. Esa electricidad, que se produce siempre á distancia, es decir, sin el contacto de los cuerpos influyente é influido, se llama *electricidad por influencia.*

Sea, por ejemplo, *n n′* (figura 3.ª) un anillo de cobre colgado de una varilla ó gancho de vidrio, del cual penden dos hilos metálicos muy finos, terminados por dos bolitas de médula de saúco *b b*. Si se acerca sin tocar al anillo un cuerpo *r* electrizado resinosamente, se observará que las dos bolas se separan para tomar la posicion *b′ b′*, y la divergencia aumenta á medida que se disminuye la distancia entre el cuerpo *r* y el anillo, sin que salte la chispa de uno á otro. Es fácil demostrar que no hay comunicacion al través del aire, porque á medida que se va alejando el cuerpo *r* del anillo, disminuye la distancia entre las bolas, y es completamente nula cuando la separacion es bastante grande; cosa que no sucederia si el cuerpo *r* les hubiera comunicado alguna electricidad. Es indudable, pues, que los flúidos naturales del anillo y de las bolas se descomponen por la influencia del cuerpo electrizado *r*, y si este lo está re-

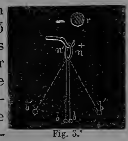


Fig. 3.ª

sinosamente, como se ha supuesto, todo el flúido vítreo se reune en el anillo, atraido por el cuerpo *r*, y el flúido resinoso pasa á las bolas por efecto de la repulsion; es decir, que no hay mas que una mudanza de lugar en los flúidos, que por su atraccion mútua vuelven á recomponerse cuando cesa la influencia del cuerpo electrizado.

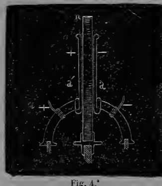


Fig. 4.ª

Concibamos ahora dos discos, *a* y *a′* (figura 4.ª), colocados en presencia uno de otro y separados por una lámina de un cuerpo mal conductor *n* : cuando el disco *a* se carga de electricidad vítrea y el disco *a′* de electricidad resinosa, una y otra se atraen al través de la lámina *n* y ejercen una *tension* ó presion sobre las dos caras opuestas, por el esfuerzo con que tienden á reunirse. Entonces se dice que estas *electricidades están disimuladas*, y en efecto, cuando los discos están cargados, puede tocarse á cualquiera de ellos, separada, pero no simultáneamente, sin que su flúido se trasmita al suelo; porque está retenido por la accion del flúido del otro disco, que es superior á la fuerza repulsiva que le es propia, ó mejor dicho, á su tendencia de trasmision al depósito comun.

Si, en vez de cargar ambos discos con electricidades diferentes, ponemos á uno, por ejemplo el *a′*, en comunicacion con la tierra, y cargamos el *a* de electricidad vítrea, esta descompone por influencia la electricidad natural del disco *a′* al través de la lámina de vidrio *n* (que hace aquí las veces del aire ó espacio intermedio entre el cuerpo *r* y el anillo *n* de la figura 3.ª), atrae á sí la electricidad resinosa, y repele hácia la tierra el flúido vítreo, quedando las electricidades disimuladas en las superficies interiores de los discos, como comprimiendo la lámina *n*, y *tendiendo* á reunirse al través de ella.

En este principio ha fundado Volta la construccion del electróforo, que describirémos despues, y la del condensador que lleva su nombre.

Es fácil acumular de esta manera una cantidad considerable de flúido disimulado, porque el disco *a* puede recibir á cada instante una nueva carga de flúido vítreo, y descomponer una nueva cantidad de flúido neutro en el disco opuesto; pero esta acumulacion tiene sus límites: 1.° porque la cantidad de electricidad acumulada directamente en los discos es proporcional á la superficie de estos y está en razon inversa del grueso de la lámina aisladora, de suerte que, si se aumenta la *tension* en las superficies interiores cuando la lámina es débil, pueden abrirse paso los flúidos al través de ella; y 2.° porque, si bien la tension es mayor en las superficies interiores que en las exteriores, no por eso deja de existir en estas, y llega un momento en que vence la presion del aire, y pierde por este médio una cantidad de electricidad igual á la que recibe.

Con las explicaciones que se acaban de dar sobre la electricidad por influencia y la electricidad disimulada, se comprenderá fácilmente el objeto y utilidad de la botella de Leyden, que podrémos describir ahora en pocas palabras. Es un vaso, ó mas generalmente una botella, de vidrio (figura 5.ª), guarnecida exteriormente con una lámina de oro, estaño ú otro cualquier cuerpo aneléctrico, que deja sin cubrir el tercio superior, y llena interiormente, hasta la mitad, de oropel, agua, mercurio ó cualquier otra sustancia conductora; á su cuello se ajusta, por medio de un tapon de corcho, un alambre grueso, que llegue al fondo, y termina por la extremidad opuesta en una bola. El espacio comprendido entre la lámina metálica *a a'*, que se llama *armadura exterior*, y el alambre *q q'*, que recibe los nombres

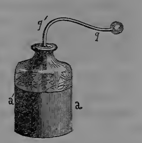


Fig. 5.ª

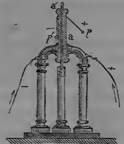
de *boton*, *gancho* ó *armadura interior*, se barniza cuidadosamente con goma laca.

Vemos pues que la botella de vidrio no es mas que una lámina de una sustancia poco conductora; que la armadura interior y la exterior reemplazan los discos a a' de la figura 4.ª, y que por consiguiente tenemos en este aparato el medio de acumular una gran cantidad de electricidad, un *condensador* en fin, cuyas ventajas han sido inmensas para el adelanto de la ciencia.

Sea la lámina ó plancha de la figura 4.ª ó la botella la que tengamos cargada de la manera indicada, las electricidades disimuladas pueden recomponerse súbita ó lentamente.

La *recomposicion lenta* presenta fenómenos curiosos, que demuestran la exactitud de la teoría sobre la electricidad disimulada y la de la ley sobre la repulsion de las electricidades del mismo nombre, por lo cual harémos mencion de la manera cómo se hace el experimento en los gabinetes de física.

Estando cargados de electricidades contrarias los discos a y a' (figura 6.ª), y convenientemente aislados por una lámina idio-eléctrica, se cuelgan dos pendulitos p p' de manera que comuniquen cada uno de ellos con las superficies exteriores de los discos; inmediatamente experimentarán una repulsion, porque se cargarán de la electricidad libre que tenian los discos. Tocando en seguida uno de estos, el a por ejemplo, se saca una pequeña chispa, el péndulo p se acerca al disco, y el péndulo p' se separa al momento, como si el a hubiera recibido una carga nueva; pero este aumento de repulsion no es efecto sino del flúido resinoso que queda libre por la pérdida de flúido vítreo que experimentó el disco a cuando se le tocó; si se toca despues el a', el péndulo p' caerá y p se separará; y así pue-


Fig. 6.ª

de continuarse hasta que el aparato se descarga completamente.

La *recomposicion súbita* es mucho mas interesante para nuestro objeto, y por consiguiente, nos detendrémos mas en ella. Se determina por medio del excitador *b c b'* (figura 7.ª), cuyos dos arcos, de cobre ó de laton, *bc*, *b'c*, giran al rededor del gozne *c*, y están provistos de dos mangos aisladores *m* y *m'*, para que el operador no sufra las consecuencias de la recomposicion. Dispuestos los discos de la manera que hemos indicado en la página 16, y tocando uno de ellos con la bola *b* del excitador, si se aproxima la bola *b'* á cierta distancia del otro, saltará la chispa, produciendo una luz y un ruido característicos del flúido eléctrico. La tension que hay en el punto de contacto *b*, y la tendencia del flúido á trasmitirse al través, ó mejor dicho, por la superficie de los cuerpos conductores, hacen que una parte del flúido resinoso de que está cargado el disco *e'* afluya al punto *b'* corriendo por las ramas del excitador, se encuentra en presencia del flúido vítreo del disco *e*, y no experimentando su tension mas resistencia que la del aire, la vence para reunirse en el momento en que la capa interpuesta disminuye con la distancia, quedando los flúidos recompuestos ó equilibrados.

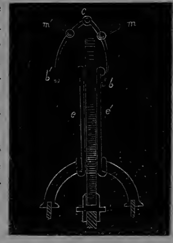


Fig. 7.ª

Tanto la recomposicion lenta como la súbita que acabamos de examinar en la electricidad por influencia, produce en las moléculas ponderables de los cuerpos efectos químicos ó sacudimientos mecánicos muy notables, que reciben el nombre de *choque de retroceso*, *choque de retorno* ó *de recomposicion*, para distinguirlo del *choque directo*. Este tiene lugar cuando

un cuerpo cargado de una electricidad cualquiera se acerca á cierta distancia de un buen conductor, y le arrebata la electricidad contraria que necesita para neutralizar la que tenia. El *choque de retroceso* lo produce la recomposicion de las dos electricidades que por influencia se hallaban separadas en el cuerpo, no fuera de masa ninguna de ellas, sino trasladadas á los puntos extremos, en cuyo tránsito parece que los flúidos se comprimen para reunirse y agitan las moléculas del cuerpo. Cuando el cuerpo conductor que recibe la influencia eléctrica no está en comunicacion directa con la tierra, puede suceder que pierda poco á poco la electricidad rechazada, y despues, si la causa descomponente se destruye súbitamente, pierda de repente con una sola chispa la otra electricidad acumulada en su superficie.

Segun hemos visto, los aparatos para acumular la electricidad consisten en dos planchas conductoras, separadas por otra de una sustancia aisladora, y se llaman *condensadores.* Se han hecho de varias formas, y cambian de nombre segun el uso á que se aplican; pero habiendo ya descrito el *condensador de láminas de vidrio* de la figura 4.ª, que nos ha servido para demostrar la teoría de la electricidad disimulada, y la *botella de Leyden*, solo citarémos el condensador de hojas de oro (figura 8.ª), porque sirve además para distinguir los cuerpos en que se ha desarrollado una de las electricidades, y por esta razon lleva tambien el nombre de *electróscopo* (del griego *electron* y *scopeô*, observar), es decir, instrumento propio para descubrir la electricidad. Cuando estos aparatos, no solo revelan la presencia de la electricidad en los cuerpos, sino que pueden indicar por medidas comparativas la cantidad de electricidad que se encuentra desarrollada en ellos, entonces se llaman *electrómetros*.

Están fundados este y los demás *electróscopos* en la propiedad que tienen los cuerpos de repelerse cuando se hallan electrizados de la misma manera (pág. 11), y consta de un vaso ó fanal de vidrio *v*, un conductor fijo *f*, y un conductor móvil *m m*,

que son dos hojas de oro muy ligeras, que se separan en cuanto se electriza el conductor fijo *f*.

Para convertir el *electróscopo* en condensador, no hay mas que terminar el conductor fijo en un platillo metálico, cuya superficie superior se barniza con goma laca, y añadirle otro platillo móvil *f'*, con un mango aislador (véase la figura), y que tenga barnizada tambien la superficie que se ha de poner en contacto con el primer platillo. De estos, el móvil es el que recibe la carga eléctrica, descompone por influencia la del otro platillo, y por consiguiente la de los conductores *f* y *m*, que están en comunicacion con él.

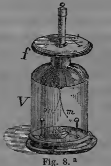


Fig. 8.ª

El primer condensador aplicado á medir la carga eléctrica se debe á Darcy y Leroy, que lo construyeron en 1749, pero tan imperfecto, que fué imposible adoptarlo. Cavallo perfeccionó, en 1780, el que habia propuesto Nollet en 1747, compuesto de dos hilos, que se separaban por efecto de la repulsion; Volta lo perfeccionó aun más dos años despues; pero no nos detendrémos en su descripcion, porque desde el péndulo eléctrico, que solo sirve para cerciorarse de que los flúidos no están equilibrados en un cuerpo, hasta la balanza de torsion, que mas tarde describirémos, y con la cual ha demostrado Coulomb, en 1785, la ley fundamental de las acciones eléctricas, es muy grande el número de electróscopos y electrómetros que se conocen, y muy variada su forma.

La ley de Coulomb, á que nos hemos referido, la relacion de los experimentos que la demuestran y la descripcion de los aparatos que sirven para ese objeto, constituye una de las partes mas interesantes del estudio de la electricidad; pero no podemos entrar ahora en esos pormenores, porque nos separarian demasiado de nuestro propósito; nos contentarémos pues con hacer saber que todos los electróscopos y

electrómetros están basados en la propiedad que tienen los cuerpos de repelerse cuando están electrizados con flúidos del mismo nombre, y en la de adquirir la electricidad por el contacto. Fundado en estas propiedades, descubrió el sábio Coulomb la ley citada, cuyo enunciado es, que las *atracciones y repulsiones eléctricas están en razon compuesta de las cantidades de flúido, y en razon inversa del cuadrado de las distancias.*

A pesar de que la balanza de torsion con que demostró Coulomb esta ley es uno de los aparatos mas perfectos y mejor ideados que se conocen en la física, segun tendrémos ocasion de ver en el cap. III, no carece de inconvenientes, que se han tratado de remediar en otros aparatos, como la balanza bifiliaria de Harris, el electrómetro de Peltier, etc., los cuales difieren bastante de la balanza de torsion. Esta consta esencialmente de una aguja de goma laca, suspendida horizontalmente por su mitad de un hilo metálico sin torsion, á la cual se presenta el cuerpo electrizado despues de ponerla en contacto con él para electrizarla del mismo modo. La accion repulsiva de la electricidad separa la aguja, retorciendo el hilo, pero á esta fuerza se opone la elasticidad del mismo, que tiende á volver la aguja á su posicion normal. En la balanza bifiliaria de Harris la aguja está suspendida de dos hilos, á cierta distancia el uno del otro, y cuando la accion repulsiva de la electricidad separa la aguja de su posicion, esta tiende á volver á ella por la accion de la gravedad. En el electrómetro de Peltier, la fuerza que se opone á la repulsion eléctrica es la accion magnética de una barra imantada, cuya sensibilidad puede aumentarse á voluntad, segun verémos mas adelante. Véase la descripcion de estos aparatos en las obras especiales de Becquerel, De la Rive ó Du Moncel.

Los condensadores que se aplican á medir la electricidad, es decir, los electrómetros, son mas perfectos cuanto mas delgada es la lámina aisladora, y por esa razon no admiten sino cargas muy débiles. Du Moncel, Lane y otros han construi-

do aparatos para remediar esta falta. El primero, con su *inductómetro*, mide cargas eléctricas considerables, y el *electrómetro* del segundo permite comunicar una carga determinada á un cuerpo conductor; pero hasta ahora, la balanza de Coulomb y el electrómetro de Peltier son los que se emplean exclusivamente, á menos que se trate solo de determinar la especie de electricidad que tiene un cuerpo, en cuyo caso basta el electróscopo de hojas de oro, al cual puede sustituirse ventajosamente, por su comodidad, el electróscopo de los Sres. Fabre y Kunemann, inventado últimamente, que consiste en una hoja sumamente delgada de gutta-percha, que se suspende á un soporte cualquiera, y que se electriza antes del experimento, frotándola ligeramente con el dedo; adquiere así la electricidad resinosa, y basta aproximarle un cuerpo electrizado á un metro de distancia, para que la atraccion ó repulsion indique si lo está positiva ó negativamente.

Para acumular grandes cantidades de electricidad ha sido preciso valerse de la botella de Leyden, condensador, como hemos visto, cuya lámina idio-eléctrica es de vidrio bastante fuerte para no ser agujereado por la recomposicion de los flúidos; y como la comunicacion de la electricidad se verifica en razon de las superficies, para aumentar poderosamente los efectos de la botella, se han ideado las *baterías eléctricas*, compuestas de cierto número de botellas, cuyas armaduras interiores comunican todas entre sí por medio de varillas metálicas *t* *t′* *t″* (figura 9.ª), y las exteriores igualmente por medio de la plancha de plomo que reviste el fondo de la caja *B B′*, en que están colocadas. Con este ingenioso aparato se consigue

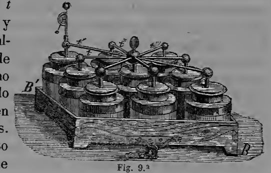


Fig. 9.ª

el mismo efecto que se obtendria con una enorme botella, cuyas armaduras tuvieran una superficie igual á la de todas las que componen la batería; se ve pues que ambas cosas son un mismo aparato, y que solo varia la potencia; por consiguiente, cuanto digamos sobre la manera de cargar y descargar la botella, se entiende tambien para las baterías; pero en estas son los efectos mas poderosos, y deben aumentarse las precauciones.

Para cargar la botella, se coge con la mano por la armadura exterior, y se pone el boton en comunicacion con una de las máquinas generadoras de electricidad de que hablarémos despues, ya sea en contacto, ó ya mas bien á una distancia corta para ver saltar las chispas, que se suceden con extraordinaria rapidez al principio, y que disminuyendo cada vez mas, indican el grado de la carga. La electricidad de la máquina pasa á la armadura interior, obra por influencia al través del vidrio, descompone la electricidad natural de la armadura exterior, atrae la de distinto nombre, que se acumula y condensa en la superficie del vidrio, y rechaza la del mismo nombre, que se trasmite al depósito comun, atravesando por la mano y el cuerpo, que le ofrecen libre paso. Se podria cargar la botella en sentido inverso, es decir, agarrándola por el gancho y presentando la armadura exterior á la máquina generadora; no habria mas diferencia sino que los flúidos cambiarian de situacion. En uno y otro caso es tan esencial la comunicacion de una de las armaduras con el suelo, como la de la otra armadura con la máquina.

Algunas veces la botella se descarga espontáneamente, ya partiendo la chispa entre el boton y la armadura exterior, y entonces puede empezarse de nuevo la operacion, ya entre las dos armaduras al través del vidrio, en cuyo caso la botella se inutiliza.

Hemos visto ya, al tratar de la recomposicion de los flúidos disimulados, la manera de obtener dicha recomposicion súbita ó lentamente; añadirémos, sin embargo, una circuns-



tancia importantísima, y es, que *cuando se presentan á la botella varios conductores para descargarla, la electricidad elige siempre el mejor;* así es que si se coge con la mano una cadena de alambre metálico y se acerca á la armadura exterior, puede impunemente aplicarse al boton, con la otra mano, la segunda extremidad de la cadena ó alambre, porque la descarga pasa por el metal, y nunca por el cuerpo; es bueno, sin embargo, asegurarse de antemano que no hay solucion de continuidad en el metal, ó que no es demasiado delgado para dejar pasar todo el flúido, pues en este caso no bastaria para evitar la conmocion.

Se mide la carga de una botella por la distancia á que salta la chispa entre el boton de la armadura interior y otro boton que comunica con la exterior (figura 10). La varilla *t q* está dividida en milímetros, se adelanta poco á poco por medio del tornillo *v*, y se observa la distancia á que parte la chispa. Para que los experimentos fueran comparativos, seria preciso que todos los botones de las botellas fuesen de las mismas dimensiones. Este aparato, llamado *compás eléctrico*, puede se muy útil, como verémos despues, en las aplicaciones de nuestro sistema de señales eléctricas para los caminos de hierro.

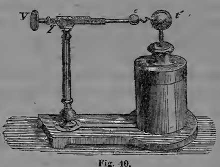


Fig. 10.

Los efectos de la botella de Leyden, y por consiguiente de la batería eléctrica, son: conmociones muy fuertes, que se experimentan cuando es el cuerpo el que sirve de conductor entre las dos armaduras; inflamacion de las sustancias susceptibles de encenderse prontamente; fusion de los hilos metálicos, y otras varias aplicaciones mas ó menos ingeniosas, como el campanario eléctrico de que no hablarémos,

porque, si bien pudiera sacarse partido de ellas en grande, bastarán las mas importantes que á continuacion se mencionan.

La conmocion producida por la botella de Leyden es algunas veces tan fuerte, que puede ser peligrosa; pasa por los brazos y el pecho cuando se tiene con una mano la armadura exterior, y se toca con la otra el boton del gancho. Las cargas débiles se hacen sentir en el antebrazo solamente, si son algo mas fuertes en el codo, y algunas producen un dolor vivo en el pecho. Cuando varias personas forman *cadena* teniéndose por la mano, si la primera toca la armadura exterior de la botella y la última el boton, todo el círculo recibe instantáneamente la conmocion, siendo el choque algo menos vivo para las personas que están hácia la mitad que para las que tocan la botella.

En la época que siguió al descubrimiento de la botella de Leyden, el fenómeno de la conmocion excitaba mucho la curiosidad, y se trató de averiguar hasta donde podria extenderse el poder del choque eléctrico. El primero que lo experimentó fué Cunœus, en Leyden: en uno de los ensayos que hacian Muschembroeck y sus amigos, tenia aquel en la mano una botella de vidrio llena de agua, quiso colgarla del conductor de una máquina eléctrica, y tocó el alambre metálico, que estaba ya en contacto con la máquina, recibiendo en el acto una sensacion nueva y no descrita hasta entonces. Los anales de la ciencia traen varias relaciones exageradas de los efectos que produjo el choque sobre los individuos que tuvieron valor de exponerse á recibirlo; Winkler, Muschembroeck, Boze y Singer experimentaron, ó hicieron creer que habian experimentado, efectos terribles; el abate Nollet hizo sufrir la conmocion eléctrica á ciento ochenta soldados que se daban la mano, y en otra ocasion se la hizo sentir á una porcion de monjes cartujos separados unos de otros por hilos metálicos que formaban una cadena de una milla de largo; por último, se ensayó con un regimiento formado en batalla, y todos, dicen, cayeron al suelo á un tiempo.

De los demás efectos que produce la botella, inflamando las

sustancias susceptibles de encenderse prontamente y fundiendo los metales, hemos indicado ya algo al hablar de la chispa eléctrica; solo añadirémos que por medio de la botella de Leyden se inflaman con mas seguridad los licores espirituosos, y que con las baterías eléctricas y el excitador universal (que no describimos porque basta la inspeccion de la figura 11 para comprenderlo despues de lo dicho) se han producido efectos sorprendentes: un alambre de hierro de varios centímetros de largo, puesto entre las ramas del excitador, se calienta con una descarga débil, se enrojece con una fuerte, con otra mas fuerte aun, salta en glóbulos fundidos, y hasta puede desaparecer convertido en vapor; con una máquina poderosa ha fundido Van Marum de 15 á 20 metros de alambre; y puede fundirse tambien debajo del agua, pero en menos longitud, porque el agua se apodera de una parte notable de la electricidad, á pesar de la inapreciable duracion de la descarga.

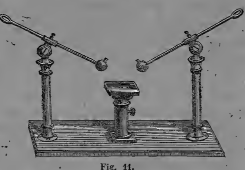


Fig. 11.

Por medio de la botella de Leyden se ha tratado tambien de apreciar la velocidad con que el flúido eléctrico se propaga en los cuerpos, y desde 1745 á 1750 hicieron experimentos Watson en Inglaterra y Lemonier en Francia, dando por resultado que en alambres metálicos aislados, cuyo conjunto formaba una legua, la descarga eléctrica se trasmitia instantáneamente. En el dia, los experimentos de Wheatstone, Pouillet, Fizeau y Gounelle, que verémos mas adelante, aunque discordes, son infinitameute mas perfectos, y hacen creer que la velocidad del flúido eléctrico es diez mil veces mayor que la de la luz.

En la época citada de 1745 á 1750 se ensayó igualmente la trasmision de la electricidad por el agua y por el suelo, seco ó húmedo. Partiendo de un punto dado un alambre metálico de varios centenares de toesas de longitud, aislado sobre postes de madera muy seca, iba á enterrarse en el suelo por el otro extremo, despues de haber atravesado rios y terrenos de diferente naturaleza; en su nacimiento se puso en comunicacion con una de las armaduras de la botella, mientras la otra estaba en comunicacion con el suelo; los flúidos no podian unirse sino despues de haber atravesado toda la longitud del alambre metálico y toda la extension de la tierra y agua desde el segundo extremo del alambre hasta el sitio de la observacion, y á pesar de un espacio tan grande y de tantos obstáculos, la descarga de la botella era instantánea, como si se hubiese hecho por el excitador ordinario. En un punto cualquiera de este gran circúito en que se hacian pequeñas interrupciones, se podian inflamar licores espirituosos, y era un espectáculo sorprendente ver el alcohol inflamarse con un fuego que parecia acabar de atravesar un rio. Examinarémos este punto con mas detencion en el capítulo VI.

Terminarémos cuanto podemos decir ahora sobre la botella de Leyden, citando un hecho curiosísimo, que prueba hasta la evidencia que si bien la electricidad natural está uniformemente esparcida en toda la masa de un cuerpo conductor, y parece acumulada allí en cantidad indefinida, como el calor, cuando uno de los flúidos está libre ó separado del otro, obra sobre sí mismo como fuerza repulsiva, y todas sus moléculas tienden sin cesar á dispersarse hasta que encuentran un obstáculo que las detenga, de donde resulta que la electricidad libre, desarrollada en un punto cualquiera de un conductor metálico, viene siempre á su superficie, allí se encuentra detenida por el aire ambiente, que es un mal conductor, y forma en ella una capa de menor grueso que el de una hoja de oro batido; capa que parece completamente in-

dependiente de la materia del cuerpo conductor, puesto que puede subsistir sin ella en la apariencia. Este hecho, observado por Becaria y demostrado por Coulomb en 1786, es el que se observa en la *botella de armaduras móviles* (figura 12). Despues de haberla cargado y colocado sobre un aislador, se quita la interior *i*, que no lleva consigo sino una cantidad muy pequeña de electricidad; se quita despues el vaso *v*, dejando sobre el aislador la armadura exterior *e*, que no da tampoco sino muy ligeras señales de electricidad. Tocando las armaduras, y dejándolas por consiguiente en su estado natural, si se vuelve á colocar el vaso en la armadura exterior, y la interior en el vaso, la botella, recompuesta de esa manera, conserva casi la misma carga que tenia antes de desarmarla, lo cual prueba de una manera indudable que al separar las piezas, las electricidades permanecieron adheridas, por decirlo así, á la superficie del vidrio. Puede adquirirse la certidumbre de lo que se acaba de decir, tocando con la mano el interior y el exterior del vaso, despues de quitadas las armaduras, pues no dejaria de sentirse una fuerte conmocion. No puede deducirse de este experimento que la electricidad se obtiene separada ó aisladamente; porque, como ni el aire ni el vidrio son perfectamente idio-eléctricos, el flúido se halla mas bien penetrándolos en la superficie de contacto, como penetra la armadura metálica cuando se encuentra adherida al vidrio.

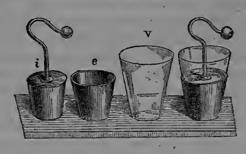


Fig. 12.

Demostrado el hecho de que la electricidad afluye á la superficie de los cuerpos, y que se mantiene allí detenida por el aire seco, que es un mal conductor, apenas es necesario

detenerse á considerar las causas que pueden producir una pérdida de electricidad; basta que la humedad convierta la atmósfera en un buen conductor, para que tengamos en ella un orígen de pérdida, y en tanto mayor grado, cuanto mas cargada de vapor se halle. Coulomb ha demostrado *que en una atmósfera tranquila y con un estado higrométrico constante, la pérdida, en un tiempo muy corto, es proporcional á la tension, es decir, á la fuerza de la carga;* ley análoga á la de Newton sobre el enfriamiento, y tan interesante como la que hemos citado al tratar de la pérdida de electricidad por los soportes (pág. 35).

Hallándose detenida la electricidad en la superficie de los cuerpos por la resistencia que le opone un mal conductor, la consecuencia teórica es, que á medida que el aire se rarifique, debe aumentar la pérdida de electricidad y disiparse completamente en el vacío, donde la resistencia es nula; pero Becquerel ha observado que en un vacío casi perfecto los cuerpos conservan electricidad durante dos dias, y cita, en su *Tratado de eléctro-química*, experimentos que tienden á probar que en un vacío perfecto podrian conservar indefinidamente y en condiciones determinadas cierta tension eléctrica.

El hilo de las ideas y el órden cronológico al mismo tiempo nos conducen á una de las épocas mas importantes de la historia de la electricidad, que ha abierto una nueva via á la ciencia y fué el preludio de una de las mas útiles invenciones de los tiempos modernos, al par que la primera aplicacion en grande de la electricidad; esta época la forma el descubrimiento que hizo Franklin *del poder eléctrico de las puntas*, poco despues del de la botella de Leyden. Su importancia exige que nos detengamos en la relacion de los hechos que lo acompañaron.

Por una série de deducciones de analogías, hechas con toda conciencia, dice el autor de una de las obras mas populares y útiles que se han publicado, creyó el Dr. Franklin

deber mirar la electricidad como idéntica á la materia del rayo, y esta proposicion, que habia emitido antes el abate Nollet (segun una biografía moderna), se esparció por todo el mundo científico al mismo tiempo que los sólidos razonamientos en que estaba fundada.

El 10 de mayo de 1752, Dalibard, Lelord, Mazeas, Buffon y Le Monier hicieron algunos experimentos, colocando verticalmente en el jardin de Marly una barra de hierro de 40 piés de longitud, que se electrizó al pasar una nube tempestuosa, permitiendo cargar botellas y producir otros varios fenómenos eléctricos. Estaba, sin embargo, reservado á Franklin verificar por sí mismo sus preciosas inducciones, sin tener noticia del experimento del 10 de mayo. Figurándose que una nube tempestuosa cederia su electricidad á los conductores terminados en punta, habia pedido, hacia tiempo, la ereccion de una pirámide en Filadelfia; pero no habiéndolo podido conseguir, imaginó que una cometa le proporcionaria un medio fácil de comunicar con las nubes, y en el mes de junio de 1752 lanzó una, armada de un alambre de laton terminado en punta. Al extremo de la cuerda de cáñamo que sujetaba la cometa, cerca de la mano, tenia atado un cordon de seda, y en la union de este con la cuerda, la llave de una puerta.

Segun los detalles que él mismo ha dado de su experimento, trascurrió mucho tiempo antes que la cuerda diese señales de electricidad, y sin embargo, una nube que habia pasado cerca parecia deber comunicársela. Empezaba á desvanecerse su esperanza, cuando notó que las barbas de la cuerda se erizaban en todas direcciones; presentó el dedo á la llave, y su descubrimiento se confirmó tan completamente como podia desearlo: apenas se mojó la cuerda con la lluvia que sobrevino, las chispas se hicieron mas numerosas, se pudieron cargar botellas y repetir con la llave los experimentos que se hacian ordinariamente con las máquinas eléctricas.

M. de Romas entrelazó despues un hilo metálico con la cuerda de cáñamo que sujetaba otra cometa, y la convirtió así en un conductor perfecto. El 7 de junio de 1753 la elevó á 500 piés del suelo por medio de una cuerda de 780 de largo, que formaba con el horizonte un ángulo de cerca de 45°, y sacó de su conductor chispas de un cuarto de pulgada de diámetro y de tres pulgadas de longitud, cuyo chasquido se oia á 200 pasos. El 16 de agosto de 1756 se hizo otro experimento notable, y las corrientes de fuego eléctrico que se desprendian eran verdaderamente imponentes; las chispas tenian una pulgada de diámetro y diez piés de longitud, sus detonaciones eran semejantes á las de un pistoletazo, y sin embargo, el flúido se podia encaminar con facilidad al depósito comun por medio de un conductor colocado al lado de la cuerda.

Decir cuáles fueron las ventajas producidas por este descubrimiento, seria enumerar todo lo hecho desde entonces en la *electricidad estática*, porque solo desde entonces empezaron á construirse los instrumentos de manera que no presentasen superficies angulosas, y que estuviesen en armonía con el objeto de los experimentos. Solo citarémos la mas importante é inmediata de sus aplicaciones, *los para-rayos*, esas armas con que la ciencia ha vencido á la naturaleza, obligando á la chispa eléctrica á no abandonar la cadena que le impone, y á bajar con ella al seno de la tierra, donde se sepulta inofensiva.

Un para-rayos se compone de una barra metálica terminada en punta, que se coloca aislada en la parte mas alta del edificio que se quiere proteger de las tempestades; la barra metálica se pone en comunicacion con la tierra por medio de una cadena ó alambre tambien metálico, que debe aislarse todo lo posible del edificio, y cuyo extremo inferior debe enterrarse á cierta profundidad en terreno húmedo ó en un pozo; de ese modo la electricidad de las nubes, en vez de descargarse sobre el edificio con los terribles efectos que siem-

pre produce, pasa de la nube á la barra, y de esta á la tierra por la cadena, sin hacer el menor daño, porque sigue siempre el mejor conductor que se le presenta.

Al dar la teoría de su descubrimiento, Franklin se equivocó, atribuyendo el efecto de las puntas á *una afinidad de entrada de la electricidad*, cuando, por el contrario, no es sino una *facilidad de salida*. Él creia que la electricidad, desarrollada en un cuerpo inmediato á una punta metálica, era atraida por ella, y lo que sucede es, que esta electricidad obra por influencia sobre la natural del metal, atrae hácia sí, es decir, hácia la punta, la electricidad del nombre contrario, y rechaza la del mismo al otro extremo ó á la tierra, si está en comunicacion con esta.

Si recordamos lo que se dijo al hablar de la electricidad por influencia, del papel que hace el aire atmosférico seco en los conductores, se comprenderá fácilmente que cuando se quiere acumular en ellos este flúido hay que evitar las formas angulosas, empleando con preferencia las redondeadas. La electricidad, en efecto, tiende á dispersarse por su tension ó fuerza repulsiva sobre sí misma, como lo hemos dicho en la pág. 54, y afluye á la superficie, donde se encuentra detenida por el aire, que como tambien sabemos, es un cuerpo mal conductor, y al cual se le atribuye la propiedad de ejercer una presion sobre el mismo flúido. A pesar de que esta indicacion bastaria para hacer comprender la influencia de las puntas, no será fuera del caso dar una demostracion matemática de este hecho, uno de los mas importantes de la electricidad.

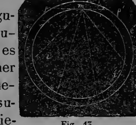


Fig. 13.

En un globo conductor electrizado (figura 13), como todos los puntos de su superficie están equidistantes del centro, es evidente que la capa eléctrica debe tener en todas partes el mismo espesor, y puede considerarse comprendida entre la susuperficie *e* *e'* del globo, donde se detie-

ne por la presion del aire, y otra superficie $i\ i'$, igualmente esférica, que pasa por dentro de la primera á una distancia infinitamente pequeña; esta superficie interior de la capa eléctrica es á la que se llama *superficie libre*. Consideremos ahora una molécula de flúido m; parece al pronto que no puede estar en equilibrio en dicho punto; pero concibiendo el plano $p\ m\ p'$, se verá que si todo el flúido que está encima tiende, por su repulsion, á precipitar la molécula m al centro del cuerpo conductor, todo el que está debajo tiende á rechazarla hácia la superficie, y se demuestra matemáticamente, por la ley de la *razon inversa del cuadrado de las distancias*, que estas dos fuerzas deben hacerse equilibrio. No sucede lo mismo con una molécula de la superficie exterior, porque está rechazada por todas las moléculas del flúido, y de ahí el esfuerzo continuo que ejerce contra el aire ó contra los cuerpos malos conductores con que está en contacto. Laplace ha demostrado que el flúido eléctrico tiene una fuerza repulsiva proporcional siempre á su espesor, y como la presion que ejerce contra el aire ó contra los obstáculos que la detienen está en razon compuesta de su fuerza repulsiva y de su espesor, resulta que esta presion en cada punto ó en cada elemento de su superficie, es proporcional al cuadrado del espesor de la capa que se encuentra en este punto ó sobre este elemento; así es que el flúido eléctrico, esparcido en los cuerpos conductores, puede considerarse como los flúidos ponderables contenidos en vasos, sobre cuyas paredes ejercen presiones; cuando los vasos son bastante resistentes, el flúido queda contenido en ellos; cuando son demasiado débiles para resistir á la presion, las paredes revientan y el flúido se esparce. Para el flúido eléctrico el vaso es el cuerpo conductor; las paredes son el aire, la capa de resina, de barniz ó cualquier otro cuerpo no conductor que lo cubre; y cuando el espesor de la electricidad es bastante grande, hiende el aire ó atraviesa la capa de barniz, y la chispa salta; lo cual es un indicio de que el flúido se escapa en abundancia.

En un elipsóide (figura 14) el espesor eléctrico no es igual en los diferentes puntos de la superficie. De las condiciones matemáticas que acabamos de citar resulta que en el polo *p* y en un punto *q*, los espesores son entre sí como los semidiámetros *cp* y *cq;* por consiguiente, las presiones son entre sí como los cuadrados de *c p* y *c q*. Si el elipsóide es tan alargado, por ejemplo, que *c p* es igual á 100 *c q*, la presion en el punto *p* será 10,000 veces mayor que en el punto *q;* por consiguiente, la electricidad deberá escaparse siempre por la extremidad mas puntiaguda del elipsóide.

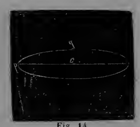


Fig. 14.

Una punta muy aguda puede considerarse siempre como el polo de un elipsóide muy prolongado; así es que, por débil que sea la carga eléctrica de semejante cuerpo, el flúido que se acumula en su cúspide formará siempre un espesor bastante grande para vencer la resistencia del aire, y de aquí el *efecto de las puntas*, cuyo descubrimiento hemos hecho conocer antes de explicar la teoría, porque fué tambien muy anterior á ella.

Contra lo que suelen hacer comunmente los autores de física, hemos dejado para el fin del capítulo consagrado á la electricidad estática el tratar de las *máquinas eléctricas* que se emplean como generadores de la electricidad, por dos razones.

La primera es que siguiendo el órden, hasta cierto punto cronológico, que hemos conservado hasta aquí, no correspondia hacer antes mencion de los aparatos de Ramsden, Van Marum y otros, porque son posteriores á los descubrimientos en que se ha fundado su construccion. La segunda razon, mas poderosa aun, es la de que, conocidos ya todos los fenómenos de la electricidad estática y sus principales teorías, habrian de ser mejor comprendidos los aparatos que sirven para su produccion sin mas que hacer una ligera des-

cripcion de ellos; y bastará su aspecto para apreciar las ventajas ó inconvenientes que tiene cada una de sus partes, cuando de otro modo hubiera sido preciso dar una explicacion complicada de cada una de aquellas en todas las máquinas; cosa que habria perjudicado al conjunto de la descripcion, y que seria necesario repetir en todas, ó dejar al lector en una ignorancia absoluta de la constitucion de esos aparatos, que naturalmente parecerian muy complicados, si no se hiciera mas que dar á conocer su uso.

CAUSAS QUE PUEDEN DESARROLLAR ELECTRICIDAD.

Ya que hemos demostrado la conveniencia de no entrar en la descripcion de las máquinas eléctricas sino despues de conocer algunos de los fenómenos que se quieren producir con ellas, y las propiedades que deben tenerse presentes para dar á sus partes la forma mas adecuada al objeto, no será fuera del caso decir algo sobre la manera de producirse la electricidad, puesto que en eso ha de fundarse la construccion de las máquinas eléctricas.

Segun los conocimientos adquiridos hasta el dia, la electricidad se desarrolla en los cuerpos por cuatro causas diferentes: por la accion mecánica, por la física, por la química y por la fisiológica.

Las acciones mecánicas que pueden romper el equilibrio del flúido natural en los cuerpos, y hacer que estos presenten los fenómenos eléctricos, son : *la frotacion*, *la presion* y *la division de los minerales segun las facetas de crucero* (para lo cual parece que debe aceptarse la palabra *clivage*, derivada del aleman, lengua madre de nuestra nomenclatura minera).

Las acciones físicas que desarrollan electricidad en los cuerpos son : *la accion capilar*, *la del calor*, *la del magnetismo* y *la de la electricidad misma*. A estas dos últimas se les han dado los nombres de *induccion magnética* é *induccion eléctrica*, y de ellas tratarémos especialmente en el capítulo v.

Todas *las reacciones químicas* van acompañadas de un desprendimiento de electricidad; y mencionarémos separadamente, sin embargo de no ser mas que verdaderas reacciones químicas, *la combustion*, *la accion química de la luz solar*, y la que produce *el contacto de los gases con los metales no oxidables en el agua*, ó sea *la accion catalítica*.

Las acciones fisiológicas, por último, se manifiestan en los *peces eléctricos*, *en la germinacion de las plantas*, y es mas que probable lleguen á descubrirse tambien en las funciones vitales de los individuos del reino animal.

Debiendo tratar mas adelante, con alguna extension, de la manera de producir la electricidad por reacciones químicas y por induccion, que son las que con mas abundancia y facilidad desarrollan la electricidad en un estado particular, que estudiarémos, nos debemos limitar ahora á hablar de la electricidad que se obtiene por la frotacion, porque es el principio en que se funda la construccion de las máquinas eléctricas propiamente dichas, y darémos oportunamente una idea muy ligera de las demás acciones, que no son todavía sino objeto de aplicaciones científicas, pero que pueden servir de base á estudios cuyo porvenir no es fácil prever.

Electricidad desarrollada por las acciones mecánicas.— Electricidad por frotacion. — Thales de Mileto descubrió en el succino, 600 años antes de Jesucristo, la propiedad de atraer los cuerpos ligeros cuando se habia frotado de antemano; y como es la primera noticia que se tiene de los fenómenos eléctricos producidos por el hombre, puede decirse que la frotacion fué el primero de los medios empleados para desarrollar este flúido, y que el ámbar ha sido el cuerpo en que primero se produjo, por lo que recibió el nombre de *electron*, del verbo yo atraigo, que no se le hubiera dado si no hubiese sido en él una propiedad especial. Teofrasto de Ereso habla despues de la misma propiedad, observada en el azabache, en el ágata y en el *lyncurium*, que debe ser sin duda la turmalina.

El Dr. Gilberto publicó despues su catálogo de cuerpos que por medio de la frotacion adquirian la propiedad de atraer; pero todos estos son hechos aislados, y no pudieron formularse de una manera general hasta que Grey hizo su descubrimiento; ya entonces todos los cuerpos fueron sometidos á la prueba, y se dividieron en dos clases: los idio-eléctricos, que adquirian la electricidad por frotacion, como la goma laca, el ámbar, la resina, el azufre, el vidrio, el diamante, el topacio, la esmeralda y la mayor parte de las piedras preciosas; y los aneléctricos, que no adquirian la menor apariencia atractiva por mas que se frotasen, entre los cuales ocupaban el primer lugar los metales; á estos últimos se agregaron despues el carbon, la leña y las tierras cocidas, que daban muy rara vez señales de atraccion.

Los cuerpos idio-eléctricos debieron naturalmente excitar la curiosidad de los físicos, y uno de los primeros fenómenos que se observaron fué la diferencia entre la electricidad que se desarrolla por la frotacion del vidrio y la de la resina. Ya hemos hablado de este descubrimiento de Dufay, y si lo citamos de nuevo, es para deducir de él la consecuencia que se sacó de la teoría que ya conocemos. Segun esta teoría, *los dos flúidos, vítreo y resinoso, combinados ó neutralizados entre sí, constituyen el estado natural de los cuerpos, y cuando este equilibrio se rompe por una causa cualquiera, el cuerpo se* ELECTRIZA POSITIVAMENTE, *si es el flúido* VÍTREO *el que domina,* NEGATIVAMENTE, *si es, por el contrario, el* RESINOSO *el que prepondera.*

La consecuencia es esta: Si un cuerpo, en su estado natural, posee las dos electricidades en igual proporcion, *no hay una razon para que tome ó conserve uno de los flúidos con preferencia al otro, y al electrizarse por la frotacion, debe ser susceptible de adquirir unas veces la electricidad vítrea, y otras la resinosa.* En efecto, el vidrio es vítreo cuando se frota con lana ó seda, y es resinoso cuando se frota con una piel de gato, de nutria, ó cualquiera otra de igual clase. De la misma manera, hay cuerpos que hacen tomar á la resina la electrici-

dad vítrea, mientras que otros muchos desarrollan en ella la resinosa.

De suerte que para definir rigorosamente los flúidos, conviene hacerlo diciendo que el *flúido vítreo* es el producido por el *vidrio* cuando se frota con *lana*, y el resinoso es el que adquiere la *resina* frotada por una piel de gato, por la lana ó por la seda.

Otra consecuencia forzosa de la teoría emitida, es la de que si se desarrolla la electricidad vítrea ó resinosa en un cuerpo que estaba en un estado natural, es preciso que la electricidad contraria se separe ó se destruya por la causa descomponente; pero como la destruccion de un agente natural ó de una fuerza es tan imposible como la destruccion de la materia misma, podemos estar seguros de que nunca se desarrolla una de las electricidades sin la otra, y así lo demuestra la experiencia. Frotando uno contra otro dos discos aislados por mangos de vidrio, no dan señal ninguna de electricidad si se mantienen unidos; pero en cuanto se separan es fácil reconocer que el uno tiene la electricidad vítrea, y el otro la resinosa. Los discos pueden ser de vidrio, de resina, de madera ó de metal, y si se quiere variar mas el experimento, se puede pegar á ellos pieles, tela, papel, etc., *porque la naturaleza de la electricidad no depende sino de las superficies que frotan.*

Se han hecho muchos experimentos para descubrir la causa por la cual la frotacion desarrolla electricidad; pero no se ha conseguido ningun resultado satisfactorio. Algunos físicos pretenden que la separacion de los flúidos se debe al sacudimiento ó movimiento de las moléculas; pero Pouillet cree, con razon á nuestro entender, que es una explicacion vaga é inexacta, puesto que en el cambio de estado de los cuerpos existen uno y otro en las moléculas, y sin embargo no se desarrolla electricidad. Otros suponen que la frotacion que produce electricidad va siempre acompañada de una accion química, y que basta impedir esta accion para que la electri-

cidad no continúe desarrollándose. En su apoyo citan algunos experimentos de Wollaston, que si bien parecen confirmar esta teoría, no son concluyentes, como lo demuestran las observaciones de Gay Lussac y Peclet, y recientemente las de Edmond Becquerel, que prueban lo contrario.

Si no es posible hasta el dia fijar el verdadero orígen de la electricidad por frotacion, indicarémos al menos las principales circunstancias que parece obran de una manera constante para modificar su desarrollo.

1.ª Dos cuerpos sólidos, sean los que quieran, buenos ó malos conductores, adquieren siempre por la frotacion, el uno la electricidad resinosa y el otro la vítrea, cuando se toman las precauciones convenientes para secarlos, aislarlos, etc.

La frotacion entre los cuerpos sólidos y los líquidos parece tambien suficiente para desarrollar electricidad en muchos casos. Nosotros creemos que podria ser uno de ellos el hecho interesantísimo, observado recientemente por Becquerel, de la electricidad producida por el contacto de las masas de agua con la tierra, pues si bien su autor lo atribuye exclusivamente á las acciones químicas, los hechos observados son tan complexos, que no le han permitido todavía establecer conclusiones absolutas, y pudiera muy bien la frotacion de las aguas con la tierra influir en el desarrollo de la electricidad.

Los líquidos frotados entre sí podrian, en circunstancias á propósito, desarrollar tambien electricidad.

Los gases, ya se froten entre sí, ya con líquidos ó con cuerpos sólidos, no parece que desarrollan electricidad, dice Pouillet, á menos que estén cargados de partículas sólidas ó líquidas.

2.ª Cuando se eleva la temperatura de un cuerpo, adquiere una tendencia á electrizarse resinosamente; pero esta tendencia no es proporcional en todos los cuerpos con la misma elevacion de temperatura.

3.ª El estado de la superficie de un cuerpo no carece de

influencia en la especie de flúido que toma por la frotacion; se observa en general que las asperezas de la superficie dan á los cuerpos, y sobre todo á los malos conductores, una tendencia á adquirir la electricidad resinosa.

El color, la disposicion de las moléculas ó de las fibras, la direccion en que se frota, y aun la presion mas ó menos fuerte del cuerpo frotante influyen tambien en la especie de electricidad que se desarrolla en él; pero los resultados obtenidos son muy vagos, y no puede establecerse una regla como para los dos casos citados de la temperatura y aspereza de la superficie. Cuando se frota, por ejemplo, una cinta de seda negra con otra blanca, la negra adquiere siempre la electricidad resinosa; cuando se frotan en cruz dos cintas de la misma especie, la que permanece inmóvil toma la electricidad vítrea, y hay sustancias que, como la *disthena*, adquieren la electricidad vítrea en algunos puntos de su superficie y la resinosa en otros, sin que se note en ellos la menor diferencia de temperatura ó aspecto.

4.ª Una lámina ó plancha metálica adquiere, segun Becquerel, la electricidad vítrea cuando se frota con limaduras del mismo metal, y estas adquieren la electricidad resinosa.

Dos láminas de diferentes metales, frotadas entre sí, adquieren, segun la proposicion sentada en uno de los párrafos que preceden, la electricidad vítrea una, y resinosa la otra; pero se ha observado que un metal se electriza positivamente con unos y negativamente con otros, y se ha podido formar la siguiente tabla, en que cada metal toma la electricidad vítrea con los que le siguen, y resinosa con los que le preceden.

Antimonio.	Hierro.	Oro.	Plomo.	Cobalto.
Arsénico.	Zinc.	Cobre.	Platino.	Níquel.
Cadmio.	Plata.	Estaño.	Paladio.	Bismuto.

Debe tenerse muy presente que cuando se frotan uno contra otro dos cuerpos que no tienen el mismo grado de dureza, y que uno de ellos cede, por consiguiente, al otro una parte de su sustancia, la frotacion no se verifica ya entre los

dos cuerpos, sino entre el cuerpo mas blando y la parte del mismo que se ha depositado sobre el mas duro; de eso proviene la gran dificultad de determinar los efectos eléctricos obtenidos por la frotacion, sujetos á infinitas causas de error, para las cuales es poca toda la atencion del mas hábil experimentador.

Segun Peclet, la tension de la electricidad desarrollada por la frotacion es independiente de la velocidad, de la presion, de la extension de las superficies en contacto, del espesor de los cuerpos frotantes y de la manera cómo se frota; pero Becquerel dice que debe llegarse á obtener una tension máxima, no perdiendo de vista las dos consideraciones siguientes: 1.ª que cuando la descomposicion de las dos electricidades se efectúa en la frotacion con mas rapidez que la recomposicion, la tension eléctrica aumenta; 2.ª que si la recomposicion se verifica en un tiempo apreciable, mientras mayor sea la velocidad de los cuerpos frotantes, mayor será él máximum de tension.

Todo cuanto acabamos de decir debe tenerse presente al leer la descripcion de las máquinas eléctricas fundadas en el desarrollo de la electricidad por frotacion, pues al hacerla nos limitamos á describir las partes de que se componen y los efectos que producen.

Debemos advertir asimismo que en adelante nos valdrémos siempre de las denominaciones *positiva* ó *negativa* para designar las electricidades *vítrea* ó *resinosa;* pues, segun hemos dicho, seria impropio y hasta sujeto á error seguirles aplicando dichos nombres, cuando la resina puede producir electricidad vítrea, y el vidrio electricidad resinosa, segun la naturaleza del cuerpo con que se frotan estas sustancias.

La presion es la segunda de las acciones mecánicas que desarrollan electricidad. Este descubrimiento se debe á Œpinus, y Libes fué el primero que poniendo un disco de metal en un tafetan engomado, y levantándolo por medio de un mango aislador, despues de haberlo comprimido ligeramente, ob-

servó que el disco se cargaba de electricidad positiva y el tafetan de electricidad negativa. Este experimento no es concluyente, porque la adherencia entre el metal y el barniz produce un efecto análogo á la frotacion; pero Haüy ha conseguido desarrollar la electricidad en un gran número de cuerpos de superficies lisas y pulimentadas, en circunstancias en que no parece posible dudar que el fenómeno sea debido á la presion. Un fragmento de espato calizo adquiere una carga muy sensible de electricidad positiva cuando se aprieta un momento entre los dedos; lo mismo sucede con el topacio, el espato flúor, la mica, el aragonito, el cuarzo y otras sustancias; hay que advertir, sin embargo, que la especie de electricidad que adquieren depende del cuerpo con que se comprimen.

Haüy descubrió tambien una propiedad muy notable de los cristales electrizados por presion, y es que conservan su electricidad durante algunas horas y aun algunos dias; la cal carbonatada posee una fuerza conservadora tal, que despues de haber sido comprimida un instante, da señales eléctricas sensibles *once* dias despues. En este principio se funda la aguja eléctrica de Haüy, que es uno de los electróscopos mas sencillos y delicados.

Becquerel ha deducido de sus experimentos que la cantidad de flúido que se desprende es proporcional á la presion; no es posible, sin embargo, adoptar estos resultados como ley general, porque no se han sometido los líquidos á la prueba, y los gases, que son tan eminentemente compresibles, no han manifestado ninguna apariencia eléctrica.

La division de los minerales segun las facetas de crucero, ó sea *el clivage*, es otra de las acciones mecánicas que desarrollan electricidad. Cuando esta operacion se hace rápidamente en la oscuridad con una lámina de mica, por medio de dos varillas ó pinzas aisladoras, se produce una débil luz fosfórica, y se ve por medio del electróscopo que cada una de las dos hojas en que ha quedado dividida la primitiva po-

see una electricidad contraria, cuya intensidad es tanto mayor, cuanto mas rápida ha sido la separacion.

Verificándose siempre este fenómeno, cualquiera que sea el espesor de la lámina de mica, puede sacarse la consecuencia de que se reproduciria, si fuese posible, hasta operar la separacion de las dos últimas moléculas.

Todas las sustancias cristalizadas capaces de dividirse en sentido del crucero, y que sean malos conductores de la electricidad, producen efectos análogos.

Por la ligera revista que hemos pasado de algunos de los diferentes medios de desarrollar los flúidos eléctricos, y la que en los siguientes capítulos harémos de las restantes, se ve que bien examinados estos medios, pueden reducirse á muy pocos fenómenos generales, y tal vez todos, segun opinion emitida, que no nos atrevemos á consignar sino con la mayor reserva, á una reaccion química mas ó menos perceptible. Pero aun admitiendo que son todos diferentes, están reducidas á tres, hasta ahora, las fuentes adonde acuden las ciencias, las artes y la industria, cuando necesitan hacer uso de la electricidad. Dejarémos para mas adelante el estudio de los aparatos y fenómenos que tienen relacion con dos de ellas, los de la electricidad desarrollada por las reacciones químicas y los de las inducciones magnética y eléctrica; porque deben tratarse con la misma extension, cuando menos, que los que hemos presentado hasta aquí para describir los aparatos conocidos en la física con el nombre de *máquinas eléctricas*, cuya construccion está fundada en la propiedad de desarrollar la electricidad por frotacion, único medio que se conoció en la primera época de la historia de la electricidad, que llevamos referida.

DESCRIPCION DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.

Máquina eléctrica es, en realidad, todo aparato que rompe el equilibrio de los flúidos eléctricos que se encuentran en los cuerpos en su *estado natural*, y pone de manifiesto alguna de las propiedades de la electricidad; de suerte que la planta germinando en una cápsula aislada, como la usaba Pouillet para demostrar la accion fisiológica en el acto de la vegetacion, seria en rigor una máquina eléctrica; pero se ha restringido el significado de esta, hasta el punto de dejar ese nombre solo para designar los aparatos con que se ponen de manifiesto los fenómenos eléctricos por medio de la frotacion.

El pedazo de succino en que descubrió Thales de Mileto la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, constituye, con el paño de la túnica ó manto en que debió frotarla, la primera máquina eléctrica conocida, que sirvió para los experimentos de esta ciencia. El cilindro de succino y el pedazo de franela con que obtuvo el Dr. Walls la primera chispa, es indudablemente otra máquina del mismo nombre. El tubo de vidrio con el tapon de corcho y el alambre metálico de que se valió Grey para hacer la gran distincion de los cuerpos en idioeléctricos y aneléctricos, es otra máquina mas perfecta ya, pues tiene todas las partes que constituyen esencialmente la máquina eléctrica que se usa en el dia.

Seria prolijo hacer mencion de todas las modificaciones que se han hecho en las máquinas eléctricas, tanto en la materia como en la forma de cada una de las tres partes principales que las constituyen, porque han sido infinitas. Ya hemos dicho que Walls empleó un cilindro de succino y un pedazo de franela, Otto de Guerike se valió de un globo de azufre, que hacia girar y frotaba con la mano; Hawksbée empleaba un globo de vidrio, que giraba tambien sobre su eje; Grey se sirvió de un tubo de vidrio, al cual añadió por primera

vez, en union con Winkler, un conductor aislado, porque como tal puede considerarse el alambre metálico que clavó en el corcho de su tubo de vidrio; Duffay probó en 1732 que el hielo podia servir de cuerpo frotado, y el mismo abate Nollet le sirvió de conductor, colgándose de unos cordones de seda. En 1741 Boze introdujo de nuevo el globo de vidrio de Hawksbée, sustituyéndolo al tubo que se habia empleado exclusivamente desde los experimentos de Grey, y fué el primero á quien le ocurrió recoger la electricidad desarrollada por la frotacion en un conductor aislado, reducido á un tubo de hoja de lata, suspendido del techo por un cordon de seda, idea que habia iniciado Grey con su alambre metálico, sin darse cuenta de las ventajas que mas adelante habia de producir. Winkler aplicó una almohadilla en vez de la mano, que habia servido de cuerpo frotante hasta entonces; á M. Gordon se debe la forma cilíndrica que tienen algunas máquinas eléctricas, y á Ramsden, segun unos, al Dr. Ingenouze, segun otros, la máquina de disco, que se conoce con el nombre de *máquina eléctrica ordinaria*, porque es la que mas se usa en los gabinetes de física. En fin, dirémos en general, que todas las máquinas eléctricas empleadas en el dia se componen de un *cuerpo frotante*, de un cuerpo que recibe la frotacion y de un *conductor aislado*.

El *cuerpo frotante* es una almohadilla elástica, rellena de crin y forrada de cuero, que se cubre con una capa de una sustancia oxidable, como el oro musivo (el deuto-sulfuro de estaño), ó diversas amalgamas, entre las cuales parece ser la mas eficaz una de zinc y estaño.

El *cuerpo frotado* es un cilindro ó disco de vidrio ó de otra sustancia idio-eléctrica.

El *conductor aislado* es, en general, un sistema de cilindros huecos de laton, terminados por superficies esféricas ó redondeadas, y sostenidos por columnas de cristal, barnizadas de goma laca.

No es necesario indicar por qué se han adoptado esas ma-

terias y formas; las leyes deducidas de los fenómenos que se han explicado ya, y la experiencia han demostrado sus ventajas. Pasemos, pues, á hacer una descripcion detallada de tres ó cuatro de las máquinas usadas en los gabinetes de física.

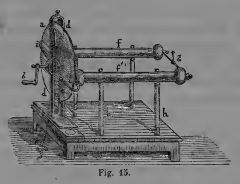


Fig. 15.

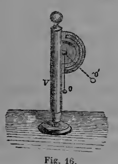
La máquina ordinaria de Ramsden ó de Ingenouze está representada en la figura 15. El disco de vidrio *a*, cuyo diámetro puede variar desde 50 á 80 centímetros que tienen las comunes, hasta tres metros, como la gigantesca máquina que posee el Panópticon de Londres, está perforado en el centro para dejar pasar un eje, que tiene su correspondiente manubrio *f*, y la rosca *e* sirve para fijar sólidamente el eje al disco. Los montantes *d d* están dispuestos para sostener al mismo tiempo el disco, y los dos pares de almohadillas *e e*, que lo frotan por cada lado desde la circunferencia hasta el tercio ó la mitad del rádio. El conductor *f g f'*, aislado sobre las columnas *h h*, termina por dos especies de brazos ó arcos *i i*, que abarcan el borde del disco en los extremos de su diámetro horizontal; es decir, que forman cruz en el disco con los montantes; los arcos del conductor están erizados interiormente de unas puntas metálicas, que llegan muy cerca del disco, pero sin tocarle, y á los montantes se adaptan unas armaduras de tafetan, para que cuando la parte de disco que acaba de ser frotada llegue á las puntas de los arcos, haya

perdido la menor cantidad posible de electricidad con el contacto del aire húmedo.

Para poner en accion la máquina es menester tener la precaucion de secar bien todas sus partes, de untar las almohadillas con el oro musivo ó con una de las amalgamas citadas, y ponerlas en comunicacion con el suelo por medio de una cadena; ya en este estado, basta dar vueltas al manubrio para poder recoger la electricidad en el conductor aislado.

Lo que sucede en esta máquina no necesita explicacion, despues de lo que llevamos dicho. La electricidad positiva, que se desarrolla por la frotacion en el disco, descompone por influencia el flúido natural del conductor aislado, sobre todo en los arcos i, i', rechaza la positiva, que pasa á ocupar toda la superficie del conductor aislado, y la negativa es, por el contrario, atraida y sale por las puntas de los arcos para neutralizar la electricidad positiva de que está cargado el disco. La negativa que se desarrolla en las almohadillas pasa al suelo, y es indispensable que comuniquen bien con la tierra, porque si permaneciesen cargadas de electricidad negativa, desarrollarian menos de la positiva en el disco, puesto que tenderian á neutralizarla.

Para conocer cuándo está cargado el conductor de la máquina, y el grado de la carga, se le suele añadir el *electrómetro* llamado *de cuadrante ó de Henley*, representado en la figura 16, en el cual la bola o se separa mas ó menos del vástago v, segun esté mas ó menos cargado de electricidad el conductor aislado.


Fig. 16.

Se emplean algunas veces conductores secundarios, que son cilindros de cobre ó de hoja de lata, colgados por medio de cordones de seda ó sostenidos por columnas aisladoras. Poniendo estos conductores en comunicacion con los de la máquina, el sistema entero se carga de electricidad, y pue-

den obtenerse chispas mas fuertes, porque la tension es mayor.

Como ejemplo notable de una máquina de esta especie, citarémos la que existe en el Panópticon de Lóndres, construida conforme al plan de Marmaduke Clarke; el disco tiene tres metros de diámetro, y lo pone en movimiento una máquina de vapor; el conductor aislado principal es un cilindro de 75 centímetros de rádio y dos metros de longitud. La electricidad desarrollada por esta máquina gigantesca se comunica á una batería, compuesta de 36 botellas grandes de vidrio, cuyas armaduras juntas forman una superficie de 250 piés cuadrados. Los efectos que produce esta máquina y su batería son prodigiosos, y verdaderamente comparables á los del rayo, pues se han fundido instantáneamente alambres de 20 y 22 piés de longitud.

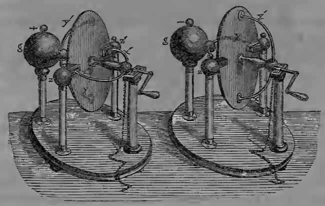


Fig. 17.

La máquina de Van Marum, que se ve en la figura 17, difiere de la ordinaria, en que está dispuesta para recoger á voluntad la electricidad positiva ó la negativa; es decir, la electricidad de las almohadillas ó la del disco. Los dos pares de almohadillas se disponen, en ese caso, en sentido del diámetro horizontal, sostenidas por los semiglobos de laton z y z'; hay dos arcos móviles x x', y y', que deben estar siempre

en planos perpendiculares; es decir, que cuando el arco $y\ y'$ está vertical, el $x\ x'$ se halla horizontalmente situado, comunica con las almohadillas y hace pasar la electricidad negativa al suelo, mientras que el arco $y\ y'$ y el globo g se cargan de electricidad positiva. Cuando, por el contrario, $y\ y'$ se halla en la horizontal, $x\ x'$ está vertical, comunica con el disco y recompone su flúido, dejándolo en el estado natural, mientras que $y\ y'$ recoge la electricidad de las almohadillas, la esparce por el globo g y los semiglobos $z\ z'$, donde se pueden cargar los condensadores.

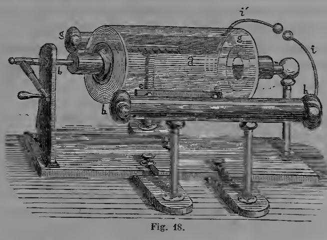


Fig. 18.

La máquina de Nairne, representada en la figura 18, está dispuesta tambien para dar las dos electricidades, pero las da simultáneamente en dos conductores diferentes. En esta máquina, el cuerpo frotado es un gran cilindro de vidrio *a*, móvil al rededor de un eje horizontal *b*, y la frotacion la verifica en el sentido de su longitud una sola almohadilla *e*, fija á uno de los conductores aislados *h h*, mientras el otro *g g*, erizado de puntas, se carga de electricidad contraria: por medio de los dos arcos *i* ó *i'* se pueden recoger simultáneamente las dos electricidades ó una sola, en cuyo caso hay que poner el otro conductor en contacto con la tierra. Se puede adaptar tambien una *armadura*, es decir, una pieza de

tafetan engomado, que impide el contacto del aire, algo húmedo siempre, del sitio en que se encuentra la máquina.

Se ha tratado de reemplazar el disco ó cilindro de vidrio con cuerpos menos higrométricos, menos caros y menos frágiles. M. Croissant de Laval parece haber obtenido muy buenos resultados con máquinas en que el papel hacia las veces del vidrio; en la exposicion de Lóndres de 1851 figuraba una máquina en que el disco de vidrio se hallaba reemplazado por una correa de gutta-percha, que funcionaba en dos poleas; y en la exposicion francesa de 1855, los Sres. Fabre y Kunemann han presentado una máquina cuyo disco era de goma elástica vulcanizada. No dudamos que los efectos sean excelentes, porque es un cuerpo eminentemente idio-eléctrico, y su módico precio, así como la dureza que adquiere, permitirán hacer discos de grandes dimensiones y generalizar las máquinas de mucho poder.

M. Jules Thore ha dirigido últimamente á la Academia de Ciencias de Paris una comunicacion, describiendo una máquina eléctrica de su invencion, semejante por su construccion á la que hemos citado de la exposicion de Lóndres; pero, en vez de ser una correa de gutta-percha, M. Thore emplea una tira sin fin de papel, tendida por dos cilindros de madera, cubiertos con seda; imprimiendo un movimiento de rotacion á uno de los cilindros, y apoyando sobre él, y por consiguiente sobre el papel, una plancha de hierro caliente ha obtenido cantidades notables de electricidad. Sigaud de Lafont y otros autores antiguos traen máquinas muy parecidas, en que el papel se halla reemplazado por cintas de seda.

El electróforo, que algunos atribuyen al sueco Wilke, si bien Becquerel y la mayor parte de los físicos convienen en que se debe á Volta, es la mas sencilla y cómoda de todas las máquinas, en que se obtiene la electricidad por frotacion y por influencia, cuando no se necesitan grandes cargas eléctricas.

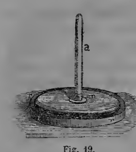


Fig. 19.

Se compone de una torta de resina *r* (figura 19) y de un disco metálico *m*, provisto de un mango aislador *a*. Es conveniente que la resina se halle contenida en una caja de madera, y que su superficie sea sensiblemente plana. El disco debe ser de cobre ó de laton, con un reborde redondeado, ó simplemente de madera cubierta con una hoja de estaño y de un diámetro menor que el de la torta de resina.

Para servirse de este aparato se frota, ó mas bien, se sacude la resina con una piel de gato; se coloca el disco sobre ella, apoyando la mano, se levanta despues por el mango, y se encuentra cargado de electricidad positiva, que produce una chispa al acercar un dedo, un excitador ó una botella de Leyden. Esta operacion puede repetirse muchas veces, sin necesidad de electrizar de nuevo la torta de resina.

La explicacion del fenómeno es muy sencilla : la electricidad negativa desarrollada en la torta descompone por influencia la natural del disco metálico; atrae la positiva que no pasa á neutralizar la de la torta, porque no se acumula sino en una superficie bastante grande, que no puede vencer la resistencia del aire, como cuerpo mal conductor; la electricidad negativa, que ocupa la superficie superior del disco, pasa por la mano del operador al suelo ; y cuando se levanta aquel por medio del mango aislador, solo se encuentra cargado de electricidad vítrea. La sencillez, el tamaño, la baratura y comodidad de este aparato, lo hacen de un uso muy general, y preferible á las demás máquinas eléctricas, cuando como hemos dicho, no hay necesidad de obtener grandes cargas en poco tiempo.

Los Sres. Fabre y Kunemann, ya citados, han construido electróforos, cuya torta en vez de ser de resina, es de goma elástica vulcanizada, semejantes á los discos de sus má-

quinas eléctricas, y aseguran que los resultados en aquellas son tan buenos como en estas.

Queriendo obtener del electróforo una cantidad abundante de electricidad, se ha imaginado reunir varios aparatos de esta clase, y someterlos mecánicamente á un mismo movimiento, capaz de desarrollar en todos simultáneamente las propiedades eléctricas. No nos detendrémos en describir la *máquina electrofórica* de M. Girarbon, porque no nos parece necesario para hacer comprender el objeto que se propone, ni creemos que llegue á preferirse al electróforo sencillo cuando se quieran obtener cargas débiles, ó á las máquinas de disco cuando se trate de grandes cargas.

En el mes de diciembre de 1854 presentó M. Hermite á la Academia de Ciencias de Paris, la descripcion y el cálculo de una máquina eléctrica, cuya construccion proponia, fundándola en el principio del electróforo; dicha máquina deberia tener la singular circunstancia de desarrollar la electricidad de manera, que en vez de consumir trabajo mecánico, produjera, por el contrario, una cantidad no despreciable. Como el extracto de las sesiones que publica semanalmente la Academia no contiene la descripcion del aparato, no nos ha sido fácil comprenderlo; pero es seguro que al realizarlo se encontrará el autor muy léjos de sus consideraciones y cálculos.

Para obtener grandes cargas eléctricas en poco tiempo no hay, entre los aparatos conocidos, ninguno que pueda competir con la *máquina hidro-eléctrica de Armstrong*, debida al físico de este nombre, que al construirla aplicó de la manera mas feliz el principio que dedujo del hecho observado casualmente en 1840 por un trabajador de Sighill, cerca de Newcastle. Hallábase este hombre encargado de cuidar una máquina de vapor fija, y queriendo arreglar el peso de la válvula de seguridad, le sorprendió ver partir una chispa eléctrica, que parecia salir del metal de la caldera.

En esta máquina la electricidad se desarrolla tambien por

la frotacion, pero es la que produce un chorro de vapor á una alta presion al pasar por una boquilla estrecha. Se compone la máquina de una caldera de vapor aislada *a* (figura 20), de una caja refrigerante *b*, de tres boquillas de salida *c*, y de un conductor *d*.

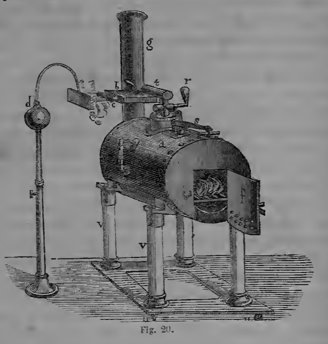


Fig. 20.

La caldera es de hogar interior, cuya puertecilla se ve en *f* y la chimenea en *g*; está aislada sobre cuatro columnas de vidrio *v*, encajadas en un cuadro con ruedas *u*; *s* es la válvula de seguridad, *r* la llave para dar salida al vapor y poner en accion el aparato; cuando se abre, el vapor pasa primero al tubo grueso *t*; se distribuye luego en tres tubos pequeños, que atraviesan en línea recta la caja refrigerante, y llega á la boquilla en que termina cada uno de estos tubos.

La caja refrigerante *b* contiene agua á la temperatura ordinaria; pero su nivel no es bastante elevado para que toque á los tubos del vapor, y hay unas mechas de algodon sobre los

tubos que sumergen sus dos extremidades en el agua de la caja, se mojan por la capilaridad, y enfrian hasta cierto grado los tubos y el vapor que pasa por ellos: los vapores que se producen en la caja pasan á la chimenea por otro tubo g'.

La boquilla de escape es la pieza esencial del aparato, porque de su construccion depende el poder eléctrico de la máquina. Despues de varios ensayos, Armstrong se ha fijado en la disposicion que representan las figuras 21 y 22. Cerca ya de su extremidad el tubo del vapor se ensancha en forma de cono, y en él se introduce la pieza representada en perspectiva en la figura 22, que es la verdadera boquilla de escape ó de salida, y se ve de corte, pero ya introducida en el tubo en la figura 21. Se compone de un tronco de cono de madera *p*, cuya base menor forma cuerpo con la pieza de metal *m*. El vapor llega directamente y choca contra el metal, se esparce, se ve obligado á pasar por una hendidura, allí se esparce de nuevo para pasar á un orificio de dimensiones convenientes que está en el eje del tronco de cono de madera: el anillo con rosca *n* no sirve mas que para sujetar sólidamente la boquilla de escape.

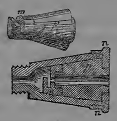


Fig. 21 y 22.

Al atravesar el vapor la caja *b*, el enfriamiento produce algunas gotas muy ténues de agua, que el resto del vapor arrastra consigo, y parece demostrado por los experimentos de Faraday que la frotacion de estas gotas contra la madera del tronco de cono es lo que desarrolla la electricidad; de modo que las gotas constituyen el cuerpo frotante, las paredes de la boquilla el cuerpo frotado, y el vapor no es sino el agente ó el motor que determina una friccion rápida.

El conductor *d* tiene la forma representada en la fig. 20, es decir, la de un peine, ó mas bien un cepillo metálico; toma la electricidad del vapor, y estando aislado, puede sacarse la chispa en la bola d', que es una parte del conductor.

No se ha puesto en la figura otro tubo de escape, que se destina á introducir diversas sustancias pulverulentas en el tránsito del vapor, á fin de estudiar su influencia sobre la naturaleza y cantidad de electricidad producida.

Con una caldera de 80 centímetros, que como se ve constituye un aparato muy poco voluminoso, se obtiene mas electricidad que la que producen tres máquinas ordinarias con discos de un metro y movidas con una velocidad de una vuelta por segundo. En la universidad de Paris se ha establecido otra mas poderosa de 80 boquillas, cuyas enormes chispas se suceden con tal rapidez, que forman un chorro continuo y deslumbrador de algunos centímetros de ancho y varios decímetros de largo. En el Museo Politécnico de Lóndres existe otra de mayor poder aun.

Antes de pasar adelante, y para terminar el presente capítulo, explicarémos la diferencia que hay entre los dos estados en que se presenta la electricidad, completamente distintos entre sí, al menos en la apariencia, y que ha hecho dar el nombre de *electricidad estática* al uno, y *electricidad dinámica* al otro.

Siempre que se verifica la neutralizacion de las dos electricidades positiva y negativa, ya sea al través del aire, con una chispa, ya por medio de un conductor, la electricidad se halla en el *estado dinámico* todo el tiempo que dura la neutralizacion, porque se supone que se hallan en movimiento las dos electricidades cuando se dirigen la una al encuentro de la otra para recomponerse; denominacion que expresa una idea opuesta á la de *estado estático* ó de reposo en que se hallan las dos electricidades cuando, despues de desarrolladas, permanecen acumuladas separadamente sobre cuerpos aislados. Al *estado estático* se da tambien el nombre de *tension eléctrica*, nombre que expresa perfectamente el estado violento, por decirlo así, en que se encuentra el flúido eléctrico, y la tendencia que tiene, por consiguiente, á abandonarlo.

El estado dinámico puede ser *instantáneo* ó *continuo*. Es

instantáneo en todos los casos en que dos cuerpos electrizados están aislados, y por consiguiente, no adquieren mas electricidad despues que se han neutralizado mútuamente la que tenian. Pero si se supone que uno de los dos cuerpos comunica con un generador constante de electricidad positiva, y el otro con un generador tambien constante de electricidad negativa, las dos electricidades se irán renovando á medida que se vayan neutralizando, y habrá entre los dos cuerpos una sucesion continua de chispas, si están á corta distancia, ó una reunion continua de las dos electricidades, si los dos cuerpos se comunican por un conductor; á esta neutralizacion no interrumpida es á lo que se da el nombre de *estado dinámico* ó *corriente eléctrica*, y al estudio de los fenómenos que se obtienen por medio de dichas corrientes, el de sus leyes y el de los aparatos con que se producen, se llama *electricidad dinámica*, ramo nuevo, que apenas cuenta sesenta años de existencia, pero cuyos servicios á las artes y á las ciencias han sido de tanta consideracion y se han multiplicado de tal manera, que ha habido precision, no solo de separarla de la electricidad estática, conocida desde Thales, sino de hacer en ella nuevas subdivisiones, que prometen tomar proporciones inmensas, como verémos en los siguientes capítulos.

CAPITULO II.

ELECTRICIDAD DINAMICA.—GALVANISMO.—TERMO-ELECTRICIDAD.

Comparando los resultados que produce en nuestro siglo la enunciacion de un hecho, con los que producia en tiempos todavía muy cercanos, no puede el hombre menos de admirar el progreso que se nota en la actividad de su inteligencia, y felicitarse de la rapidez con que fructifican las ideas. Mas de dos mil años habian trascurrido entre las observaciones de Thales de Mileto y la construccion de las máquinas perfeccionadas de Ramsden y Van Marum, entre los cuales solamente aparecieron con intervalos muy grandes los importantes trabajos de Gilberto, Otto de Guericke, Grey, Muschembroeck y Franklin, de que hemos hecho mencion. En nuestra época, cada año, cada dia, cada momento es testigo de una nueva revelacion sorprendida por el hombre á los arcanos de la naturaleza, y apenas se anuncia un descubrimiento, cuando sirve de punto de apoyo á la poderosa palanca de la ciencia, que no tarda en procurarse otros nuevos para seguir siempre avanzando.

Por una de esas causas inexplicables, que la Providencia solo conoce, cuando la febril actividad que los descubrimientos de Franklin habian excitado en el mundo científico cambiaba de curso, y casi abandonadas las investigaciones eléctricas, se empleaba en el estudio de los fenómenos que dieron orígen á la química moderna; cuando solo el incansable Coulomb se ocupaba en fijar las leyes de los fenómenos eléctricos, y parecia condenada esta ciencia á no extender mas sus apli-

caciones, un hecho casual, extraño en apariencia á todo lo que se habia estudiado sobre ella, vino á llamar la atencion general en medio de una de las conmociones políticas mas grandes que han agitado la Europa. El *galvanismo* nace en 1790, el año mismo en que muere Franklin, como para hacer mas glorioso el nombre ya inmortal del ilustre americano. Este portentoso descubrimiento hace dar á la ciencia uno de los pasos mas gigantescos; y como para reparar la orfandad en que parecia quedar, abre ancho campo á nuevas y preciosas investigaciones.

Una mera casualidad, un efecto simple del acaso, produjo aquel notable acontecimiento; y para que se cumpliese en los progresos del entendimiento humano lo que en todo lo creado, y que siempre las mas pequeñas causas hayan de producir los mayores efectos, bastó la coincidencia de haberse de preparar unas ranas que se destinaban al caldo de una enferma, y la de que esta preparacion se hiciese sobre una mesa, en la cual se hallaba tambien colocada una máquina eléctrica, que funcionaba en aquel momento, para que el nombre de Galvani pasase á la posteridad. En efecto, en el año de 1789, una señora de Bolonia, que se ocupaba en hacer experimentos eléctricos en la máquina dicha, observó que las ranas, colocadas á un pié de distancia del conductor, y tocadas con la punta del cuchillo en la parte superior del muslo, se movian convulsivamente y con tal rapidez, que hubo de parecerle el fenómeno digno de ser comunicado á su marido; llamó entonces á Galvani y le refirió el hecho, añadiéndole que le parecia que las contracciones habian tenido lugar en los momentos en que partian las chispas. El marido quiso descubrir la causa del fenómeno, y repitió el experimento, tocando con el escalpelo los nervios crurales de una rana, mientras otro operador sacaba chispas del conductor de la máquina, y con asombro de unos y de otros, se repitieron los efectos.

Si Galvani hubiera sido un físico consumado, aquel hecho tal vez habria pasado sin excitar tan profundamente su aten-

cion, porque lo hubiera atribuido al fenómeno que conocemos con el nombre de choque de retroceso; pero afortunadamente no era mas que un buen profesor de anatomía, poco versado en aquellos estudios, y sorprendido de la novedad del fenómeno, quiso ir mas adelante, y se lanzó en el inmenso campo de los experimentos hechos á la ventura, repitiéndolos con otros animales, con la electricidad atmosférica y de cuantas maneras le sugeria su imaginacion. En fin, buscando lo que á los físicos no hubiera parecido necesario buscar, hizo uno de esos hallazgos con que la casualidad recompensa la perseverancia del profano que se esfuerza trabajando, mas bien que la indolente confianza del sábio que espera demasiado de sus conocimientos.

Vió que una rana muerta y mutilada, que habia colgado del balcon de su casa por medio de un gancho de cobre, experimentaba súbitamente vivas convulsiones. No habia allí máquina eléctrica ni choque de retroceso; las conjeturas de la ciencia fallaban, por consiguiente, y era natural que este hecho sorprendiera á todos los hombres especiales; la admiracion del profesor de Bolonia fué entonces legítima, dice Arago, y la Europa entera se asoció á ella. Notó Galvani que las contracciones no se verificaban sino cuando el viento ponia en contacto con el hierro del balcon algun punto de los músculos del animal, y sin tener en cuenta la diferencia de los metales, supuso que esta manifestacion eléctrica podria provenir de dos corrientes contrarias, que existian en los músculos y en los nervios, y le dió el nombre de *electricidad animal*, considerando que los nervios y los músculos eran como las dos armaduras de una botella de Leyden: en cuanto al gancho de cobre y al hierro del balcon, no eran á sus ojos mas que un mero conductor complexo, que establecia la comunicacion entre las dos armaduras, operando la descarga. Un hecho le confirmaba en esta conjetura, y es que habia obtenido las contracciones, estableciendo la comunicacion entre el músculo y el nervio por medio de un solo metal, si bien recono-

ció que el efecto era infinitamente mas débil que cuando se empleaban dos metales diferentes.

Hemos dicho ya que cualquier hipótesis es buena cuando da orígen á nuevos descubrimientos, y considerada de esta manera, la de Galvani era excelente, porque las controversias á que dió lugar, los experimentos que se hicieron con motivo de estas controversias, produjeron beneficios inmensos al progreso de la ciencia, y descubrimientos que tal vez no se hubieran hecho con otra hipótesis mas exacta, pero menos á propósito para aquella época de innovacion y de entusiasmo, en que se pretendia nada menos que poner bajo el dominio del hombre el secreto de la vida.

Los fisiólogos habian monopolizado hasta cierto punto la nueva electricidad con el nombre de *electricidad animal* ó *flúido galvánico;* pero no tardaron los físicos en oponer su derecho, y con un exclusivismo igual, pretendieron hacer entrar los nuevos fenómenos descubiertos en la clase de los hechos ya conocidos de la electricidad ordinaria. Uno de los mas ardientes partidarios de esta idea fué Alejandro Volta, profesor de física de la universidad de Pavía, inventor de algunos instrumentos eléctricos, y rival de Galvani en la perseverancia y minuciosidad de sus observaciones.

Volta produjo las convulsiones de la rana, nó interponiendo dos metales distintos entre un nervio y un músculo, como Galvani, sino haciéndolos tocar á un músculo solamente, y desde aquel momento vino á tierra la comparacion con la botella de Leyden; la electricidad negativa de los músculos, la positiva de los nervios, no eran, pues, sino meras suposiciones; los hechos observados no tenian relacion con ninguno de los conocidos, y volvian á cubrirse con un espeso velo. Pero Volta se propuso descorrerlo; á sus ojos, las partes animales no hacian sino el papel secundario de conductores, que establecian la comunicacion entre los metales, y á estos les atribuyó, por el contrario, el muy principal de *poner en movimiento el flúido eléctrico que estaba en reposo en*

cada uno de ellos; porque Volta, suponiendo como Franklin que no existia mas que una electricidad, no las llamó nunca, en plural, *electricidades*, sino *flúido eléctrico. Yo demuestro,* dice él mismo, *que los metales y aun los buenos carbones de leña son, no solamente los mejores conductores eléctricos, sino tambien excitadores de electricidad* (1) *por medio del simple contacto*... «He descubierto, añade, que con esos metales ó con esos carbones se puede perturbar el equilibrio de la materia eléctrica, y desarrollar una nueva electricidad. Los metales y los carbones, emitiendo por sí mismos el flúido eléctrico, y obligándolo á entrar en las superficies conductoras que toca, excitan esa débil electricidad, que no se puede reconocer en los electrómetros ordinarios, por bien construidos que estén, pero que basta para conmover las fibras nerviosas que encuentra en los músculos, y esto sin frotacion, por el simple contacto de los metales, con tal que por medio del agua ó de cuerpos embebidos de humor acuoso se obtenga convenientemente.»

¡Cuán vasto es el campo que abria este principio á las investigaciones eléctricas! Y sin embargo, estaba reservado á la gloria de Volta ensancharlo mas. La escuela de Bolonia defendia obstinadamente la teoría de Galvani, y en su apoyo este y Aldini presentaron un hecho que parecia contradecir la opinion del físico de Pavía; las contracciones musculares podian producirse suprimiendo los metales, con solo hacer tocar una de las partes de la rana á los músculos lombares. Pero este experimento, léjos de desalentar á Volta, le condujo á generalizar su principio y admitir que dos cuerpos diferentes, cualquiera que fuese su naturaleza, teniendo la propiedad de ser buenos conductores, se constituian siempre en dos estados eléctricos contrarios *por el simple hecho de estar en contacto.*

La paridad entre los resultados de un experimento que habia verificado el aleman Sulzer en 1767 con la electricidad

(1) Posteriormente los llamó electro-motores.

estática y los de otro, hecho por Volta con la nueva electricidad, vino á manifestar la analogía que existia entre ambas, y que ya habian atestiguado las convulsiones de la rana, obtenidas por el contacto de los metales y por el choque de retroceso (1). Poniéndose una pieza de zinc sobre la lengua, y otra de cobre debajo, de modo que sobresalgan un poco, no se produce efecto ninguno mientras no se tocan; pero en el momento en que se verifica el contacto, y todo el tiempo que dura, se experimenta hormigueo en la lengua, calor y un sabor á hierro muy marcado. Si se cambian de posicion los metales, es decir, si el zinc se coloca debajo de la lengua y el cobre encima, se siente una impresion distinta, menos fácil de definir, pero igual á la que produce el conductor de una máquina eléctrica cuando se aplica á la lengua y está cargado de electricidad negativa; este, por el contrario, da el sabor á hierro si está cargado de electricidad positiva.

En el ejemplo que se acaba de citar halló el profundo físico, no solo el medio de distinguir la especie de electricidad que toman los metales en su contacto mútuo, sino tambien una prueba, como hemos dicho ya, de la analogía entre la electricidad desarrollada por el contacto y la que se obtenia por frotacion. Las contracciones de la rana no eran ya el único electróscopo comun para ambas electricidades, existia el de la sensacion producida en la superficie de la lengua. Pero no satisfecho con esto, quiso Volta hacer sensible el nuevo flúido con instrumentos semejantes á los que habian servido para la antigua electricidad, y construyó el electrómetro que lleva su nombre, que solo difiere del electróscopo de Bennet ó de hojas de oro, en que estas se hallan reemplazadas por dos pajillas muy finas y ligeras y está provisto de un condensador; es, en fin, el que explicamos en el capítulo anterior y se ha representado en la figura 8.ª; pero por la variacion indicada recibe el nombre de *electrómetro ó condensador de pajas*,

(1) Véase la pág. 45, cap. I.

segun sea un simple electróscopo ó se le añada un condensador.

Con este aparato se hizo sensible el flúido desarrollado por el contacto de una chapa de zinc y otra de cobre, y asimiladas así ambas electricidades, ejecutó Volta otro experimento, para probar que no se debia á la frotacion el flúido desarrolladopor el contacto de los metales, y sacar en consecuencia que era innegable la identidad de las dos electricidades, pero que tenian distinto orígen.

Quedaba ya como un hecho perfectamente probado y de los mas importantes de la física, que el nuevo flúido estaba sujeto á las mismas leyes que el antiguo; la imaginacion pues se perdia ante la multitud de sus aplicaciones, y si algo quedaba que desear era que se descubriesen los medios de aumentar este género de electricidad. No tardó en llenarse este deseo ; diez años despues del descubrimiento de Galvani, el 20 de marzo de 1800, Volta escribia al presidente de la Sociedad Real de Lóndres desde la ciudad de Como, diciéndole que habia encontrado el medio de aumentar á voluntad el desarrollo de la electricidad galvánica. En efecto, colocando sobre una lámina de vidrio *un disco de cobre*, sobre este, *otro disco* de zinc, y sobre el zinc un redondel de paño húmedo; poniendo despues sobre el redondel discos de *cobre*, *zinc* y *paño* húmedo en el mismo órden, y continuando así sin alterar la posicion de cada una de estas tres sustancias con respecto á las otras, habia obtenido un aparato, al cual la posteridad ha dado el nombre de su autor, llamándolo *pila de Volta*, que segun dijo Arago en una ocasion solemne, es, por la singularidad de sus efectos, el instrumento mas maravilloso que ha salido de las manos del hombre.

Los caractéres de este aparato son: 1.° comunicar una carga de electricidad positiva á un condensador, si este se aplica al último disco de zinc, despues de haber tocado el primero de cobre para ponerlo en contacto con la tierra; 2.° que si se procede en sentido inverso, es decir, poniendo el zinc

de la parte superior en contacto con la tierra, y se toca la base de cobre con el condensador, este adquiere una carga de electricidad negativa; y estos experimentos pueden repetirse indefinidamente, aun cuando la pila lleve algunas horas de estar montada, con tal que el paño no pierda toda su humedad; 3.° los efectos eléctricos que se obtienen de esta manera son tanto mas intensos, cuanto mayor número de *elementos* se acumulan.

Se llaman *elementos* ó *pares* de la pila á cada par de discos, el uno de cobre y el otro de zinc, que se ponen en contacto, y este contacto puede hacerse mas íntimo, soldándolos uno á otro. En vez del zinc y del cobre pueden emplearse otros dos metales para formar un elemento, con tal que ambos no sean atacados de la misma manera por el ácido que contiene el líquido en que se sumergen, circunstancia que verémos explicada mas adelante.

El disco de zinc que forma uno de los extremos de la pila y carga el condensador de electricidad positiva, se llama *polo negativo*, la otra extremidad, que termina en un disco de cobre y carga el condensador de electricidad negativa, se denomina *polo positivo*. Cuando uno y otro disco se ponen en contacto con alambres metálicos ó *conductores* de una longitud cualquiera, estos conductores son los que toman el nombre de *polos*, *reóforos* ó *electrodos*.

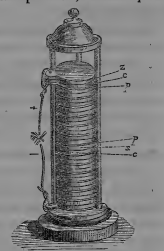


Fig. 23.

Estas son las condiciones generales que debe tener la pila de Volta y los principales caractéres que presenta. En la figura 23 puede verse la primera que salió de manos de su inventor, conocida hoy con el nombre de *pila de columna*.

Pasarémos á considerar ahora algunos de sus efectos.

Puesto que uno de los polos está siempre cargado de electricidad positiva y el otro de electricidad negativa, deberá obtenerse una chispa si se ponen en presencia uno de otro; y en efecto así sucede cuando la pila es bastante fuerte, por ejemplo cuando consta de veinte ó treinta elementos.

Siendo continua la accion de la pila, y manteniéndose horas enteras, deben sucederse las chispas entre ambos polos durante horas enteras tambien, y así lo confirma la experiencia. Es pues la pila de Volta una verdadera botella de Leyden, ó mas bien una verdadera batería, que tiene ademas la cualidad de cargarse por sí misma, y en que no se agota la electricidad á cada descarga como en una batería ordinaria, sino cuando deja de tener las condiciones dichas; así es que debe producir, aunque de distinta manera y con una intensidad que depende de la permanencia de su accion, todos los efectos que se obtienen con la botella de Leyden y con las baterías, es decir, efectos fisiológicos, físicos, químicos y mecánicos.

Entre *los efectos fisiológicos* de la pila de columna, citarémos como uno de los mas notables el siguiente: Cuando se toma en cada mano un cuerpo metálico algo humedecido en agua acidulada, y despues de poner en contacto uno de ellos con la base de la pila, se toca con el otro el remate superior ó cualquiera de los discos de zinc intermedios, se recibe una conmocion mas ó menos viva, que se repite sin cesar mientras se mantiene el contacto.

Entre *los efectos físicos*, lo son los de calórico y luz, y se hacen visibles, cuando en vez del cuerpo humano se emplean otros conductores, al través de los cuales se verifica la neutralizacion de los flúidos, si estos conductores y la pila reunen ciertas condiciones. En primer lugar, es menester que la pila sea suficientemente fuerte, que tenga, por consiguiente, un buen número de elementos, y que estos sean de una superficie bastante grande.

Para los efectos caloríficos es indispensable que la electricidad pase de un conductor de gran seccion y de muy buena conductibilidad, á otro de menor seccion y menos buen conductor; así es que cuando se reunen los polos ó electrodos de cobre por un hilo de hierro ó de platino muy fino y corto, se ve que se calienta y permanece candente mientras *pasa la corriente*, es decir, mientras está establecida la comunicacion, á menos que la pila sea tan fuerte que lo funda ó lo volatilice en el acto. Tambien se producen los fenómenos caloríficos presentando el cuerpo que se quiere fundir ó volatilizar á la accion de un carbon interpuesto en la corriente, de tal manera que esta pase al través del cuerpo y del carbon, produciendo chispa; en este caso el carbon adquiere un grado tan alto de temperatura, que hace fundir el metal que está en contacto con él.

Estos efectos provienen, segun la opinion de De La-Rive, de la resistencia que encuentra la electricidad en pasar de un cuerpo á otro ó de una molécula del mismo cuerpo á la molécula siguiente, y el desarrollo de calor es tanto mas considerable, cuanto mayor es la cantidad de electricidad detenida; hipótesis que se justifica en varios experimentos, que la índole de este trabajo nos impide citar. Recomendarémos, sin embargo, antes de terminar este párrafo, la lectura de una memoria presentada en 1854 por M. Favre á la Academia de Ciencias de Paris, con el título de *Termo-química*, en que su autor prueba que la cantidad de calor producido por el paso de la corriente voltáica en los conductores metálicos, es rigorosamente complementaria de la que se consume en los elementos de una pila, para formar una suma igual al calor total que corresponderia á las reacciones químicas que en ella se verifican, si la trasmision eléctrica se hiciese sin resistencia de ninguna especie en los conductores.

Los efectos luminosos exigen que la corriente se halle interrumpida por intervalos muy pequeños, y si se desean obtener de grande intensidad, es menester que pase al través de dos

carbones, separados tambien por una distancia excesivamente corta; entonces la luz puede manifestarse en el agua, en el vacío ó en el aire, lo que prueba que no resulta de la combustion, y que su brillo es debido á que en la llama, si puede llamarse así lo que los físicos modernos designan con el nombre de *arco voltáico*, están interpuestas y calentadas al rojo blanco las partículas carbonosas que arrastra la corriente.

La chispa de la corriente voltáica difiere de la que produce la electricidad estática en que no se manifiesta á distancia, sino en el momento mismo del contacto, y es aun mas sensible cuando este cesa, es decir, al interrumpir la corriente, abriendo el circúito. Esta circunstancia, que es muy notable, se debe probablemente á la poca tension de la electricidad voltáica.

Para terminar las observaciones que hacemos sobre los efectos físicos de la pila, dirémos que resulta de ensayos muy recientes, que los polos positivo y negativo no obran de la misma manera con respecto al calor y á la luz que desarrolla la corriente. La luz se presenta primero en uno de ellos, mientras que el calor se manifiesta en el otro.

Si bien los efectos físicos de la pila de Volta no han tenido hasta ahora las inmensas aplicaciones que los químicos, están llamados á representar un gran papel en las artes y en la industria. Como verémos en otro capítulo, tienen una aplicacion inmediata á la inflamacion de las sustancias explosibles, y pueden servir de base, entre otros casos, á un sistema de señales para advertir y evitar el peligro en una multitud de circunstancias en que serian impotentes los actuales medios de señalarlo, así como al alumbrado por medio de la luz eléctrica; problema que si no se halla enteramente resuelto, está muy próximo á serlo y ha prestado ya grandes servicios.

Los efectos químicos han sido durante medio siglo los únicos aplicados á las artes y á la industria, y aunque continúan siendo todavía los mas importantes de la pila, no nos detendrémos en su enumeracion, porque seria interminable, abra-

zando, como abraza, casi todos los fenómenos de la química; sin embargo, como la historia de la electricidad durante un largo período está casi reducida á los descubrimientos hechos en la electro-química, no podemos menos de citar aquellos que forman época y han inmortalizado á sus autores.

El primero y mas notable de ellos fué descubierto el 30 de abril de 1800 por Carlisle y Nicholson, pocos dias despues de haberse comunicado al público la carta de Volta al presidente de la Sociedad Real de Lóndres, mientras aquel hombre ilustre verificaba la identidad del flúido galvánico con el de la máquina eléctrica de frotacion, y estudiaba los fenómenos que habia conseguido hacer mas patentes con la multiplicacion del elemento ó par de discos que le habia servido de principio en sus observaciones.

Los dos químicos ingleses habian construido, para repetir los experimentos indicados por Volta sobre la conductibilidad de los líquidos, una pila compuesta de 17 monedas y otros tantos discos de zinc y de carton humedecido, no se sabe con qué; lo único que consta es que con aquella pila obtuvieron sacudimientos muy sensibles, y que despues de algunos ensayos se notó un olor á hidrógeno muy pronunciado, que sugirió á Nicholson la feliz idea de hacer pasar la corriente eléctrica por un tubo lleno de agua, valiéndose de dos hilos de metal puestos á muy corta distancia uno de otro. Bien pronto vieron aparecer los experimentadores en el tubo una línea de burbujas muy pequeñas, que parecia salir de la punta del alambre que comunicaba con la extremidad *plata*, es decir con el polo negativo, mientras que la punta opuesta, en contacto con el *zinc ó polo positivo*, se oxidaba visiblemente. Cambiadas las puntas metálicas, es decir, puesta en contacto con el polo positivo la que producia burbujas, y con el polo negativo la que se oxidaba, el fenómeno se invertia, y la primera de las puntas se oxidaba, partiendo la corriente de burbujas de la segunda; mezclado el gas producido con una cantidad igual de aire atmosférico, detonó al contacto de

la llama. Era pues hidrógeno, y Carlisle y Nicholson se convencieron con sorpresa, de que habian conseguido descomponer el agua por primera vez! pues si bien Cavendish la habia compuesto con hidrógeno y oxígeno, todos sus esfuerzos habian sido infructuosos para separar sus elementos.

Nicholson continuó solo estos ensayos, y queriendo ver lo que resultaba de emplear hilos conductores de una sustancia que no se combinase con el oxígeno, sustituyó el cobre por el platino, empleando el aparato de la figura 24, que ha recibido el nombre de *voltámetro*, y se compone de una copa *b*, cuyo fondo está atravesado por dos alambres de platino *f*, *f'*, que no deben tocarse y se hallan cubiertos con las campanas *o* y *h*, llenas de líquido. Despues de establecer la comunicacion entre los alambres del voltámetro y los polos de la pila, observó que ninguno de los hilos se oxidaba, y que de ambos se desprendian burbujas; recogió los gases en dos tubos separados, y se confirmó en que el uno era hidrógeno, y oxígeno el otro, con la circunstancia notable de que el hidrógeno ocupaba un espacio doble que el oxígeno.

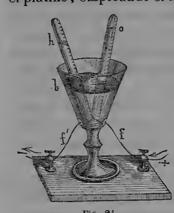


Fig. 24.

¡Dos átomos de hidrógeno en un polo, y un átomo de oxígeno en el otro! «Hé aquí un fenómeno bien sorprendente, dicen los autores, porque en las descomposiciones ordinarias los elementos se desunen, pero no se alejan uno de otro, mientras que aquí hay á la vez separacion y *transporte* de los elementos separados.» Mas adelante, cuando hablemos de la manera de generarse la electricidad voltáica, despues de dar á conocer la teoría de la pila, indicarémos la explicacion que hace Grothus, y han adoptado los demás físicos, de este fenómeno, y de las demás descomposiciones químicas que produ-

ce la corriente, porque como vamos á ver, la pila no descompone solo el agua, sino los demás cuerpos conocidos como compuestos, que resisten á otros agentes químicos. El oxígeno y los ácidos en general se recogen siempre en la campana que cubre el electrodo positivo, y el hidrógeno y la mayor parte de los óxidos ó bases salificables en el electrodo negativo. Los físicos han dado el nombre de *electrolito* al cuerpo que se somete á la descomposicion por la corriente de la pila; y como derivadas de esta, aplican las palabras *electrolizacion* y *fenómenos electrolíticos*, que son sinónimas de *descomposicion y fenómenos relativos á ella.*

Cruikshank, en Inglaterra, y Ritter, en Alemania, repitieron al mismo tiempo los experimentos de Nicholson, y no solo obtuvieron el transporte de los elementos gaseosos, sino tambien el de los sólidos, pues empleando hilos de cobre ó de plata, aparecian estos cuerpos en el estado metálico en el polo negativo, con solo acidular el agua de modo que disolviera cierta cantidad de ellos.

Casi en la misma época entró Davy en la carrera, y produjo una revolucion completa en la ciencia, que fué en sus manos el auxiliar mas poderoso de la química. «Prosiguiendo mis experimentos sobre el galvanismo durante estos dos últimos meses, escribia desde Bristol el 20 de octubre de 1800, he obtenido un éxito mayor del que esperaba. Algunos de los nuevos hechos prometen descorrer el velo con que cubre sus actos la naturaleza..... *He encontrado, por medio de numerosas observaciones, que el galvanismo es un procedimiento puramente químico, y depende enteramente de la oxidacion de las superficies metálicas que tienen diferentes grados de conductibilidad eléctrica.»*

Hé aquí otra teoría, enteramente nueva, de la electricidad encontrada por Galvani; teoría que en estos últimos tiempos ha llegado casi á prevalecer sobre la de Volta, pero que está muy léjos de haber obtenido un triunfo completo, como verémos mas adelante.

Siguió Davy enriqueciendo con sus descubrimientos la *eléctro-química* (nombre con que consagró la union de las dos ciencias, en el discurso que pronunció en la Sociedad Real de Lóndres el 29 de noviembre de 1806); en noviembre de 1801 anunció la combustion de la plata, del oro y del platino, y el hecho, no menos importante, de que habia construido una pila galvánica *sin sustancias metálicas*, con diez pedazos de carbon bien calcinados, ácido nítrico y agua, dispuestos alternativamente en vasos comunes: verdadero complemento del anuncio que habia hecho ya, el 8 de junio de 1801, de que podria construirse una pila con un solo metal entre dos líquidos diferentes, con tal que la oxidacion no se verificase sino en una sola de las superficies del metal.

Wollaston tambien presentó una memoria, tendiendo á probar que la oxidacion del metal era la causa primera de los hechos voltáicos, y confirmó los trabajos de Volta sobre la identidad de la antigua y nueva electricidad; consiguió descomponer el agua por medio de la electricidad ordinaria, y aun llègó á atribuir la que se desarrolla por frotacion en la máquina eléctrica á una oxidacion de la amalgama con que es indispensable untar las almohadillas frotadoras.

Así como Wollaston dedujo que debia haber una oxidacion siempre que habia desprendimiento de electricidad, Ritter sacó en conclusion que habia un desprendimiento de electricidad siempre que se verificaba una oxidacion. Y hé aquí á los químicos apoderados del instrumento voltáico, hacer con él maravillas, entre las cuales figuran en primer lugar la descomposicion de la potasa y de la sosa, verificada por Davy en 1807, con la cual dió á conocer dos nuevos metales, el potasio y el sodio; y la descomposicion de la barita y de la cal, efectuada por Berzelius en 1808, realizándose así la prediccion de Lavoisier, que habia atribuido la indiferencia de las tierras por el oxígeno á una saturacion completa de este cuerpo.

En tanto que se hacian estos experimentos, la pila sufria

modificaciones importantísimas en su forma, debidas á una causa muy natural. En el momento en que se quisieron acrecentar sus efectos, aumentando el número de elementos, se tropezó con un gran inconveniente; los redondeles de paño ó de carton, comprimidos por el peso de los discos, admitian muy poco líquido ó lo hacian correr á lo largo del aparato, contrariando sus efectos. Nicholson fué el primero á quien le ocurrió dividir la columna en trozos, que comunicaba entre sí; pero no bastó esto, y se imaginó colocar la columna horizontalmente en una larga caja calafateada con un betun aislador. Cruikshank adoptó otra forma, que permitió suprimir los redondeles de paño, y consistia en separar los pares entre sí, formando subdivisiones en una artesa ó cuba, y en estos intervalos se echaba el líquido, que en la columna empapaba los redondeles. Con tal forma cambió de nombre el aparato, y se llamó *pila de artesa ó de cuba*, ó *cuba voltáica*, lo que hasta entonces habia sido *columna voltáica* ó *pila*, que con mucha propiedad recibió desde el principio, por la superposicion de los discos de que estaba formada. La pila de artesa sufrió otras modificaciones parciales, ya en la materia de la cuba, ya en la forma de los discos, ya en fin en la manera de colocar los pares en dichas cubas; modificaciones todas que contribuyeron mucho al adelanto de la química, porque no solo facilitaban el modo de operar, sino que permitian aumentar el poder eléctrico del aparato.

Al mismo tiempo que se buscaban los medios de multiplicar el número de pares de la pila, se trató tambien de aumentar las dimensiones de las chapas, y en junio de 1801, Fourcroy, Vauquelin, Hachette y Thenard, formaron una pila con láminas metálicas de un pié cuadrado. «Las conmociones y la descomposicion del agua, dice el *Diario de Física* de messidor del año 9, se efectuaron de la misma manera que con igual número de chapas de menor tamaño; pero la combustion de los alambres metálicos interpuestos entre los dos polos, se verificaba inmediatamente con mucha fuerza; y su-

mergiéndolos en gas oxígeno, se inflamaban con un brillo muy vivo.» Este hecho importante, que no ha dejado de reproducirse en los infinitos experimentos que se han practicado despues, permite dar como infalibles las siguientes reglas:

1.ª Puede aumentarse la fuerza de una pila de dos maneras: agrandando la superficie de los cuerpos sobre los cuales se verifican las reacciones químicas, ó multiplicando el número de pilas pequeñas ó pares, á que se ha dado el nombre de *elementos*, para acumular sus efectos eléctricos; pero en ambos casos el efecto es diferente. En el primero es mayor la produccion de electricidad, pero exige conductores de gran seccion. En el segundo, la electricidad adquiere una tension que la hace susceptible de obrar con mas energía á distancias considerables con un conductor de poca seccion.

2.ª Una pila compuesta de varios elementos pequeños puede convertirse en una pila de un solo elemento de grande superficie, ó en pila de elementos distintos. Basta para el primer caso unir todos los polos semejantes de los diferentes elementos, de modo que forman dos grupos; y para el segundo reunir los elementos por los polos diferentes, unos tras otros. No es necesario decir que si se quiere formar tambien una pila de varios elementos, pero en menor número y de mayor superficie que los primitivos, bastaria hacer grupos parciales de elementos reunidos por los polos del mismo nombre, y reunir á su vez estos grupos entre sí por los polos diferentes.

Los trabajos de Davy pusieron fuera de toda duda los hechos que acabamos de citar, y los experimentos de Children los confirmaron en 1808, convirtiéndolos en una de las leyes de la electricidad dinámica, que puede enunciarse de esta manera: *En la pila*, LA TENSION *de la electricidad crece con el número de elementos, y* LA CANTIDAD *aumenta con el tamaño de los pares que la componen.*

Aunque los experimentos citados, que han conducido á enunciar esta ley, dicen lo bastante para comprender lo que

se entiende por *tension* y por *cantidad* en la electricidad voltáica, añadirémos algunas palabras aclaratorias.

Cuando en dos circúitos que presentan la misma *resistencia* al paso de la electricidad, el *reómetro* (aparato para medir las corrientes eléctricas) acusa un número de grados mayor en uno que en otro, se dice que la corriente tiene mayor *intensidad* en el primero que en el segundo, ó que es mayor en *cantidad*. Y cuando dos corrientes atraviesan dos circúitos desiguales, y marcan el mismo número de grados en el reómetro, tiene mayor *tension* aquella que ha recorrido el circúito que presenta mas resistencia. Es decir, que la *tension*, en una pila, es la tendencia que tiene la electricidad acumulada en los polos á desprenderse y vencer los obstáculos que se oponen á su marcha; *intensidad* es la *cantidad* de flúido que se necesita para que el reómetro marque mayor ó menor número de grados.

Los efectos químicos de la pila no se limitan á la descomposicion de los cuerpos; algunas veces se obtienen tambien combinaciones, como lo prueba el siguiente fenómeno observado por Seebeck en 1808. Si en un pedazo de hidroclorato de amoniaco se abre una cavidad y se echan en ella algunas gotas de mercurio, haciendo pasar la corriente eléctrica de modo que el polo negativo entre en el mercurio, se ve que este aumenta gradualmente de volúmen, crece en forma de hongo, toma consistencia, y llega á adquirir un tamaño cinco ó seis veces mayor que el primitivo; en una palabra, se forma una amalgama; si se interrumpe la corriente, vuelve á menguar poco á poco, el hidrógeno y el amoniaco se desprenden, el mercurio recobra su estado líquido, y la amalgama deja de subsistir.

Entre los *efectos mecánicos* de la pila, citarémos los movimientos notables que imprime la corriente eléctrica en el mercurio; observados por Erman en 1808, y mas tarde por Davy y Herschell, así como los experimentos de Porret en 1816, para los cuales dividia un vaso con un diafragma ver-

tical de membrana ó papel impermeable, llenaba de agua una de las divisiones, y echaba solo algunas gotas en la otra; introducia en seguida el reóforo positivo en la primera, y el negativo en la segunda, y observó que el agua, á excepcion de la pequeña porcion descompuesta, se trasportaba al través de la pared vertical, llegó al mismo nivel en menos de media hora, y se elevó finalmente en la separacion negativa mas que en la positiva. Observó además que la naturaleza del líquido no tenia influencia en los resultados, y que la ascension se verificaba siempre en la separacion negativa. Esto lo confirma otra experiencia de Pouillet, que hace pasar de una rama á otra de un sifon invertido una disolucion salina, introduciendo en ella el polo negativo de la pila, y el positivo en el mercurio que ocupa la otra rama.

Despues de los brillantes descubrimientos de Davy y de Berzelius, que hemos citado, nada hariamos con mas gusto que seguir la historia de esos triunfos tan interesantes como amenos; del mismo modo arrastrarian nuestra pluma los trabajos de Becquerel, para explicar los fenómenos geológicos de la cristalizacion de los minerales; las atrevidas hipótesis de Davy sobre la accion del oxígeno en la superficie de la tierra y sobre los volcanes; la magnífica teoría electro-química de Berzelius, y otras producciones no menos sublimes del genio; pero es fuerza circunscribirse al objeto de este trabajo.

Tampoco citarémos aquí la série de modificaciones que ha sufrido la pila voltáica, y que constituyen una parte muy interesante de la historia del galvanismo hasta el descubrimiento de Oersted; porque debiendo consagrar las últimas páginas de este capítulo á la descripcion de todas las pilas de que tenemos noticia, es inútil repetirla, y convendria poco separarla del lugar que le hemos destinado.

Réstanos pues, antes de pasar á hacer la descripcion de las pilas, que son las máquinas eléctricas del galvanismo, dar, como en la electricidad estática, una idea de la manera

como se generan los flúidos en estos aparatos, ó mas bien, exponer las dos opiniones que pretenden la gloria de explicar dicha generacion. La importancia de este asunto, la conveniencia de tocar al paso algunos puntos que no podrian tener cabida en las páginas que preceden, nos obligarán á detenernos algun tanto; pero creemos que no parecerá difusa esta parte de nuestro trabajo, porque es del mayor interés conocerla á fondo.

Al hablar en el capítulo primero de las causas que pueden producir electricidad, hicimos mencion de las *reacciones químicas* como de una de las principales, reservándonos para este lugar el hablar de ella. No era aquel en efecto el momento de entrar en una cuestion complicadísima, que tiene aun divididos á los físicos, y para cuyo conocimiento apenas bastarán las páginas que preceden, y las breves explicaciones en que nos permitirá entrar la naturaleza de esta obra. Trátase nada menos que de fijar la cuestion de si la electricidad que se manifiesta en toda reaccion química, es la causa ó el efecto de esta reaccion, y determinar por consiguiente si la electricidad de la pila es debida á la accion química de unos cuerpos sobre otros, ó al simple contacto, como supuso Volta.

Felizmente para la ciencia, los fenómenos de la electricidad galvánica, ya se expliquen por una hipótesis, ya por otra, son siempre los mismos, y léjos de resentirse de la discordancia de opiniones, ha ganado con la multitud de observaciones y descubrimientos á que dan lugar las experiencias en que cada cual pretende apoyar su parecer.

Como la opinion aislada que pudiéramos emitir no seria de gran peso para resolver la cuestion, creemos mas conveniente presentar una y otra teoría con la mayor claridad posible, acompañadas de las razones y pruebas en que se han fundado, indicando al paso las que nos han parecido mas convincentes.

Se ha visto al principio de este capítulo que Volta, recha–

zando la teoría de Galvani sobre la existencia de un flúido animal, atribuyó todos los fenómenos de la nueva electricidad al contacto de dos metales distintos; y generalizando despues la teoría, dijo *que el contacto de dos cuerpos diferentes, cualquiera que fuese su naturaleza, los constituia, si eran buenos conductores, en dos estados eléctricos contrarios.* Poco despues anunció Davy el siguiente principio, deducido de sus observaciones: *que el galvanismo era un procedimiento puramente químico;* principio que Wollaston adoptó hasta el punto de atribuir á la oxidacion el desarrollo de los flúidos en las máquinas eléctricas de frotacion.

Para sostener su opinion, y probar que hay entre el cobre y el zinc de dos discos que se tocan, *una fuerza electro-motriz* capaz de desarrollar electricidad positiva en uno y negativa en el otro, Volta y sus partidarios emplearon el condensador de pajas de la figura 8.ª Despues de tenerlo en su estado natural, establecian con la mano la comunicacion entre el platillo superior y la tierra, y al mismo tiempo tocaban con una chapa de zinc el platillo inferior del condensador; un solo instante bastaba, se interrumpian las comunicaciones, se levantaba el disco superior, y se observaba una divergencia sensible en las pajas del electróscopo.

Las pruebas sacadas de este experimento se han contradicho por los partidarios de la reaccion química, diciendo que para hacer sensible la electricidad en el condensador, es necesario tener húmedos los dedos con que se establece la comunicacion entre el platillo superior y la tierra, y la mano con que se toma la chapa de zinc que toca el platillo inferior; y atribuyen el desarrollo de electricidad á la accion química que se ejerce entre el zinc y el líquido que humedece los dedos.

En contra de la teoría de Volta, se cita el siguiente experimento: si se adaptan alambres de oro ó de platino á las extremidades de los hilos de un reómetro, y se introducen en un vaso lleno de ácido nítrico puro, no se observa ningun efecto eléctrico, porque el ácido no ataca al oro ni al platino; pe-

ro si se echa una gota de ácido cloro-hídrico, se produce una accion química y se nota al momento un desarrollo de electricidad. En oposicion con esto, cuando dos láminas de metales diferentes, provistas de mangos aisladores, se ponen en contacto en una atmósfera de hidrógeno ó en el vacío, se manifiestan señales de electricidad, que no pueden atribuirse á ninguna accion química.

Los dichos y otros muchos experimentos contradictorios no bastan, á nuestro modo de ver, para dar la razon á ninguna de las dos partes, porque si fueran concluyentes, ambas habrian de desistir de la pretension de explicar la procedencia de la electricidad de la pila. Por espacio de treinta años ha sido admitida casi sin contestacion la teoría de Volta, pero en los veinte últimos ha parecido triunfar, por el contrario, la de las reacciones químicas, sostenida, entre otros, por Becquerel, De La-Rive y Pouillet; Berzelius y Ampere, sin embargo, han mantenido la hipótesis del contacto de una manera digna de su talento. La magnífica teoría electroquímica del primero, que el segundo ha explicado con una claridad admirable, seria bastante para hacer adoptar una opinion que sin contradecir ninguno de los hechos observados, es indudablemente mas filosófica que la que considera las reacciones químicas como causa primera. Véanse los siguientes pasajes de la teoría de Berzelius, explicada por Ampere en el Colegio de Francia.

« Si admitimos, dice, que las partículas de los cuerpos están naturalmente en un estado eléctrico permanente, resulta del conjunto de hechos observados que debemos mirar como electro-negativos, es decir, como poseedores, por su naturaleza, de una cantidad mas ó menos grande de electricidad negativa, á todos los cuerpos que en las descomposiciones químicas por la pila se dirigen por lo regular al polo positivo, como si tuvieran afinidad por la electricidad positiva, mientras que consideraremos como electro-positivos aquellos que se dirigen con preferencia al polo negativo.

»Pero si las partículas de los cuerpos están naturalmente en un estado eléctrico, se preguntará, ¿por qué no dan por sí mismos señal ninguna de electricidad? Es muy fácil la respuesta. Las partículas de los cuerpos se han hallado en contacto con otros cuerpos mas ó menos conductores, puesto que con el tiempo no hay ninguno enteramente desprovisto de la facultad conductriz; han obrado por influencia para rechazar la electricidad del mismo nombre, y por este medio se han formado una especie de atmósfera eléctrica, que á una distancia sensible disimula su electricidad propia; pueden, por lo tanto, asimilarse las moléculas á botellas de Leyden infinitamente pequeñas.»

Este es el estado en que consideran Berzelius y Ampere que se hallan los cuerpos naturalmente, y en la leccion á que nos referimos pasa el último á analizar lo que sucede en un cuerpo, segun esta hipótesis, ya sea electro-positivo, ya electro-negativo, y demuestra que no es incompatible con la que se ha observado acerca del movimiento ó trasmision de la electricidad en los cuerpos conductores, con la manera de producirse la chispa, ni con ninguna de las nociones generálmente admitidas; y no contento con esto, prueba que las consecuencias que emanan de la teoría electro-química están acordes con lo que acredita la experiencia, y que se explican con ella perfectamente la descomposicion y combinacion de los cuerpos por medio de la pila. En una palabra, que es la fuerza electro-motriz la que obra en ella.

Ninguno ha presentado la cuestion que nos ocupa de una manera tan luminosa como el abate Moignó, en su excelente *Tratado de telegrafía eléctrica*; y como seria difícil hacer una explicacion mas clara, mas explícita ni mas elegante que la suya, trascribirémos íntegra, tratando de conservar el estilo del original, la siguiente

« *Teoría de la pila.* — Ha sido esta teoría objeto de tantas controversias, de tantos experimentos, de tantas disertaciones, que debiera haberse desvanecido la oscuridad que la

rodeaba ; pero los experimentos se contradicen , las disertaciones se combaten y la luz no aparece.

»Vamos á enunciar categóricamente el problema, dice Moignó, y á indicar la solucion que es para nosotros la expresion de la verdad y de los hechos. Hay en la pila accion química, desarrollo de electricidad, y se establece una corriente; pero ¿de dónde proviene esta electricidad? ¿Cómo se establece la corriente? ¿Es la electricidad producto de la accion química, ó es la accion química producto de la electricidad? Partidarios acérrimos de la teoría electro-química, y no concibiendo las combinaciones y descomposiciones sino bajo la intervencion de las electricidades propias ó accidentales de las moléculas, no vacilarémos un instante, y admitirémos como hecho teórico y práctico á la vez : 1.° Que la electricidad de la pila es anterior á la accion química, ó que la electricidad de la pila es la causa, y la accion química el efecto. 2.° Que la electricidad de la pila nace del contacto de los dos elementos, positivo y negativo, del zinc y del cobre, del cobre y de la amalgama de zinc, del zinc y del platino, del zinc y del carbon, del hidrógeno y del oxígeno en fin, en la pila de gases de Grove. La teoría del contacto es por lo tanto la que adoptamos. Los experimentos que vamos á describir no dejan lugar á duda en nuestro espíritu, y al recordarlos tendrémos ocasion de resucitar un aparato excelente, el duplicador de la electricidad, descrito por Barruel, que no solo ha sido olvidado, sino sustituido por otros mucho menos perfectos.

»El duplicador de la electricidad (fig. 25) se compone de dos partes. *E* es un electróscopo condensador de hojas de oro; *D*, un medio condensador, formado simplemente por un disco de cobre, semejante al platillo superior del condensador *E*, y

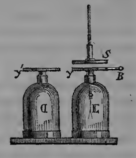


Fig. 25.

sostenido por un vástago ó campana aisladora de vidrio. Hé aquí por qué medios se convierte este aparato en multiplicador de la electricidad. Se toca el boton B del condensador con el cuerpo cuya electricidad se quiere probar, al mismo tiempo que se hace comunicar el platillo superior S con la tierra; de esta manera, suponiendo que el cuerpo estuviera electrizado positivamente, se tendria $+1$ en el platillo inferior Y ó colector, y -1 en el platillo superior S; se coloca en seguida el platillo S sobre el medio condensador Y', al mismo tiempo que este comunica con la tierra; se tendrá pues $+1$ en el platillo inferior Y', y -1 en el superior S. Si por medio de un alambre conductor aislado se ponen en comunicacion el conductor Y del condensador E y el platillo inferior Y', al mismo tiempo que el superior S comunique con la tierra, se tendrá $+2$ en Y', -2 en el platillo S, y 0 en el platillo Y. Se coloca de nuevo el platillo S sobre el colector Y, al mismo tiempo que este colector comunique con la tierra; se tiene entonces $+2$ en Y, -2 en S, y haciendo comunicar Y' con Y por un arco conductor aislado ó el alambre antes indicado, mientras S comunica con el suelo, se tendrá $+4$ en Y, y -4 en S; la cantidad primitiva de electricidad duplicada en el primer trasporte, se cuadruplica en el segundo, será 8 en el tercero, 16 en el cuarto, etc., y crecerá, por consiguiente, en una proporcion enorme. No es una progresion aritmética, ó la unidad añadida á la unidad, como sucede en el condensador de tres platillos, sino una progresion geométrica, cuya razon es 2. Sentado esto, y operando con un instrumento semejante, cuyos platillos eran dorados, y teniendo cuidado de no tocarlos sino con hilos de oro para hacerlos comunicar entre sí y con la tierra, de manera que quedara excluida toda accion química, se ha puesto en evidencia la electricidad desarrollada por el simple contacto. Cuando se ha tocado el boton B con un hilo de platino, metal electro-negativo con respecto al oro, el electróscopo, despues de tres ó cuatro trasportes, manifestaba una cantidad consi-

derable de electricidad positiva. Las dos hojas de oro ó las dos pajas se separaban con violencia, y se probaba con una barra de resina que estaban electrizadas positivamente; cuando por el contrario se habia tocado con cobre, el electróscopo manifestaba electricidad negativa.

»En estos experimentos, muchas veces repetidos, los fenómenos concordaban perfectamente con la teoría electro-química, se conservaba siempre el órden establecido por Ampere entre los metales; la electricidad, recogida y duplicada sin cesar, era siempre la que debia ser. No es posible pues vacilar cuando se han repetido estos experimentos, ni dejar de admitir el principio fundamental anunciado por Volta, de que el contacto de los cuerpos produce una ruptura del equilibrio eléctrico y desarrolla electricidad. ¿Qué puede haber, por otra parte, mas natural que este principio? Es tan sencillo, tan evidente *à priori*, que apenas necesita demostracion.

»La electricidad nace pues con el contacto de los metales, y en ella reside el orígen de la accion química que viene despues. ¿Qué papel hace, á su vez, esta accion química en la pila? Para explicarlo mejor, concibamos que los dos polos de la pila están en contacto con dos electrodos de platino sumergidos en el vaso del voltámetro ó aparato para la descomposicion del agua.

»La electricidad se desarrolla con el contacto de los metales, llega á la extremidad de los electrodos, la positiva por un lado y la negativa por el otro; si estas dos electricidades no tuviesen salida, digámoslo así, cesaria la accion electromotriz; pero obrando sobre las moléculas de agua que las separan, atraen la una el oxígeno y la otra el hidrógeno; se efectúa la descomposicion, las dos moléculas se encuentran en el estado naciente, tienen necesidad de formarse una atmósfera; la molécula de oxígeno atraida por el polo positivo descarga pues este electrodo para constituir su atmósfera electro-positiva; la molécula de hidrógeno, que va al polo negativo, descarga el electrodo negativo para constituir su at-

mósfera electro-negativa, y por lo tanto hay lugar para que llegue una nueva cantidad de electricidad positiva y negativa. La fuerza electro-motriz, desarrollada con el contacto de los metales, funciona de nuevo y se desprende otra nueva cantidad de electricidad, que se dirige á los electrodos, y es arrebatada de nuevo por nuevas moléculas de hidrógeno y oxígeno. Este es el verdadero papel de la accion química que proviene de la electricidad producida con el contacto, proporciona salida á la electricidad, permite que continúe el desprendimiento, y que se establezca por lo tanto la corriente. El orígen ó fuente de la electricidad por contacto es indefinido, pero el desprendimiento ó la intensidad de la corriente serán proporcionales á la salida que se le facilite, á la accion química en una palabra, que hace en este caso lo que la tierra en los circúitos telegráficos, disimula las electricidades condensadas en los polos, y hace posible un desprendimiento subsiguiente.»

Hasta aquí Moignó.

Para darse cuenta de la distribucion de la electricidad en una pila, ó sea la acumulacion de fuerza electro-motriz que experimenta cuando se añaden nuevos pares á los ya existentes, Volta y sus partidarios, consecuentes con la teoría del contacto, segun la cual uno de los cuerpos se constituye en un estado electro-positivo, y el otro en un estado electro-negativo, ambos en igual grado, consideran que en un número cualquiera de elementos, compuestos cada uno de dos chapas sobrepuestas, una de cobre y otra de zinc; en cada par aisladamente, el zinc tendrá una cantidad de electricidad representada por $+ 1\ e$, y el cobre otra igual á $- 1\ e$ (llamando e á la cantidad de electricidad desarrollada por el contacto), y habrá entre el estado eléctrico del uno y del otro una diferencia igual á $2\ e$; si despues de eso se hace comunicar el cobre con el suelo en el primer par, su electricidad será 0, y la del zinc $+ 2\ e$.

Colocando ahora sobre estos pares otros, de manera que

el cobre esté siempre debajo, y separando cada elemento por un redondel de paño húmedo, que impide el contacto, pero que deja pasar la electricidad de un par á otro; en una palabra, formando la pila de columna, resultará que el cobre del segundo elemento tendrá, en vez de 0, el mismo estado eléctrico 2 *e* que le trasmite el zinc del primero, y el zinc del segundo tendrá entonces + 4 *e* en virtud de la nueva fuerza electro-motriz, igual á 2 *e*, que se ejerce por el contacto con el cobre de su elemento; 4 *e* será tambien el estado eléctrico del cobre del tercer par, cuyo zinc tendrá + 6 *e*, y seguirá aumentando en la misma proporcion, porque entre el estado eléctrico del zinc y el cobre de cada par ha de haber siempre una diferencia 2 *e* debida á la fuerza electromotriz que se desarrolla en él, y en cada cobre estará acumulada la electricidad que le comunica el par anterior.

La pila, en el caso que acabamos de citar, no está cargada mas que de electricidad positiva, que va aumentando de la parte inferior á la superior. Lo estaria solo de electricidad negativa si los pares hubieran estado invertidos, es decir, con el zinc debajo del cobre en cada par. Si las dos extremidades ó polos de la pila están aislados, entonces la distribucion de la electricidad es diferente; cada mitad de la pila se encuentra cargada de electricidad distinta, la una positiva y la otra negativa, en cantidades fáciles de calcular por lo que hemos dicho, teniendo presente que la suma de electricidades libres tomadas con su signo debe ser igual á *cero*, puesto que nada se ha trasmitido á la tierra.

La observacion directa, hecha primero por Volta y despues por Coulomb y Biot, confirman en la práctica con bastante aproximacion lo que se deduce de esta teoría; pero no es esto suficiente para convencer á los partidarios de la preexistencia de la reaccion química, porque su hipótesis conduce á la misma consecuencia sobre la manera de acumularse las fuerzas electro-motrices de los diferentes pares de una pila; en esa parte están perfectamente de acuerdo, y aplican

el mismo cálculo para obtener el máximum de tension acumulada.

Además, admitiendo exclusivamente las acciones químicas como causa del desprendimiento eléctrico en la pila, De La-Rive da la siguiente teoría de este aparato con respecto á su intensidad.

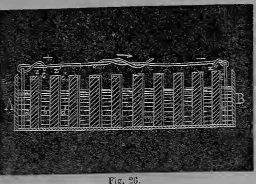


Fig. 26.

Si se considera una pila de artesa A B (figura 26), formada de elementos de zinc y de cobre, cuyos intermedios contengan ácido sulfúrico diluido, este ataca inmediatamente al zinc, pero no tiene accion sobre el cobre á la temperatura ordinaria; hay pues en toda la pila desprendimiento de electricidad positiva en el líquido, y de electricidad negativa en el zinc de cada par. En el compartimiento *b*, por ejemplo, donde el líquido está al mismo tiempo en contacto con un zinc y con un cobre, la electricidad positiva del líquido se recompone constantemente con la electricidad contraria del elemento $z\ c$, y de la misma manera, en el compartimiento *d* el flúido positivo del líquido se combina con el flúido negativo del par $z'c'$, y así en los demás de la pila; de manera que solo las electricidades de los compartimientos extremos *a* y *h* son las que no pudiendo recomponerse, quedan libres, *a* positivamente, por la accion de su ácido sobre el zinc z, y *h* negativamente, por la electricidad que le comunica el elemento $c''\ z''$. Y con esto demuestra que los ele-

mentos interpolares dan siempre flúido neutro, y que si se reunen los polos por un circúito metálico, este no es atravesado sino por la electricidad desarrollada por un solo par. En cuanto á la tension de la electricidad en los polos, se prueba que aumenta con el número de pares, no solo por el cálculo de la anterior hipótesis, sino porque segun ha encontrado De La-Rive, la conductibilidad de una masa líquida interrùmpida por diafragmas metálicos, está en razon inversa de su número, y de aquí se sigue que mientras mayor es el número de elementos interpolares, mayor es la resistencia que encuentra la electricidad á recomponerse al través de la misma pila, y mas fuerte es la tension de los polos.

Dos consecuencias se deducen de las observaciones de De La-Rive, y es la primera, que en los elementos interpolares la tension decrece de los polos al centro de la pila, pues por una parte la resistencia que presenta á la recomposicion va siendo menor, y por otra, aplicando el cálculo de la pág. 110 al caso en que los dos polos están aislados, y hallándose cada mitad cargada de una electricidad contraria á partir del centro, mientras mas cerca de este se hallen los pares, menor será el coeficiente de e que les corresponda; deberá ser cero en el mismo centro, y así es en efecto.

La segunda consecuencia es que aumentando la resistencia á la recomposicion de la electricidad por la misma pila, cuando el líquido excitante es menos conductor, aumentará tambien la tension; pero como al mismo tiempo se desprende mas electricidad con un líquido mejor conductor, aunque la resistencia es menor, la tension permanece la misma.

Habria pues una gran economía en encontrar combinaciones voltáicas cuyas fuerzas electro-motrices y sus resistencias fuesen tales, que un solo par, ó al menos un pequeño número, produjese el mismo efecto que varios, como sucede con la combinacion de amalgama de potasio, ácido sulfúrico diluido y peróxido de plomo, que segun Wheatstone tiene la misma fuerza electro-motriz que una série de

cinco elementos de amalgama de zinc, ácido sulfúrico diluido y cobre; por desgracia dicha combinacion es muy cara y se prefiere usar la otra.

Citarémos, para terminar cuanto nos proponiamos decir sobre la teoría de la pila, la que emite Schoenbein, con la cual están de acuerdo Faraday y De La-Rive, y que á nuestro modo de ver manifiesta cuán poco difieren en esencia las dos teorías del contacto y de las acciones químicas, puesto que concuerdan sus efectos, y hasta la explicacion de los primeros fenómenos que deben producirse.

Cuando se sumerge una lámina metálica en un líquido electrolítico (figura 27), sus moléculas polarizan cada una de las del líquido que las tocan, estas á las siguientes, y así sucesivamente; de manera que parten de la superficie del metal tantas líneas de moléculas de agua polarizadas como puntos hay en la superficie de la lámina. Cada una de estas moléculas presenta su oxígeno (negativo) hácia el metal, y su hidrógeno (positivo) hácia la parte opuesta, mientras que la molécula del metal tiene su electricidad positiva del lado en que está en contacto con la molécula de agua y la negativa del otro. Este estado de polarizacion ó de tension no cesa sino cuando se hace comunicar el metal y el agua con la tierra ó con los platillos de un condensador, que es lo mismo, porque entonces se da salida á la electricidad negativa del metal y á la positiva de las partículas de agua que están en contacto con el conductor. En el mismo instante, segun De La-Rive, el oxígeno de la partícula de agua en contacto con el zinc se combina con él, dando lugar á una neutralizacion de sus dos electricidades contrarias; el hidrógeno de esta primera partícula de agua se combina con el oxígeno de la segunda, y así sigue hasta el hidrógeno de la partícula en contacto con el conductor, la cual se desprende por la superficie de este.

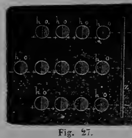


Fig. 27.

¿Qué falta ya en realidad, despues de esto, para que sea completa la analogía de esta hipótesis con la de Ampere, ó mas bien la de Berzelius y Volta, que hemos citado antes? Las razones que parece podrian decidir el ánimo en favor de la teoría del contacto, á pesar de la incertidumbre de los experimentos citados en pro y en contra, son no solo las que expone Moignó, y copiamos en las páginas que preceden, sino la de que en ella se ve, por decirlo así, una causa inmediata cuando no sucede lo mismo con las acciones químicas, que exigen la preexistencia de la afinidad, si no se admite la de la electricidad.

Además de eso, vemos que algunos de los defensores de la preexistencia de la accion química admiten ya teorías como la de la polarizacion, que no todos han aceptado; vemos otras recibidas por todos los físicos sin excepcion, y no nos parecen sin embargo mas que una consecuencia de la teoría expuesta por Ampere; tal es la de Grothus sobre el trasporte de los elementos en las descomposiciones químicas por la electricidad voltáica, de la cual hicimos mencion al hablar de los efectos químicos de la pila; pero cuya explicacion dejamos para este lugar, porque supusimos que se comprenderia mucho mejor.

Teoría de Grothus. — Concíbase una fila de moléculas de agua, 1, 2, 3, 4, etc. (fig. 28), formando una especie de cadena recta ó curva, que une el electrodo positivo de *f* nua pila, al electrodo negativo *f'*; la electricidad positiva de *f* obrará por influencia en la molécula 1 *y la hará girar*, digámoslo así, para atraer el oxígeno, que es electro-negativo, y rechazar el hidrógeno, que es electro-positivo; la molécula 1 obrará de la misma manera sobre la molécula 2, y así sucesivamente: en el otro extremo de la cadena se verificará



Fig. 28.

un fenómeno semejante. En cuanto la tension eléctrica sea bastante fuerte, el oxígeno de la molécula 1, impulsada por la atraccion, será como arrancada de las moléculas de hidrógeno á la cual estaba unida, y vendrá al polo, mientras que el hidrógeno libre obrará sobre el oxígeno de la molécula 2 para combinarse con él, y lo conseguirá, porque á esta fuerza se agrega la de repulsion que experimenta la molécula de hidrógeno para alejarse del polo positivo; al combinarse la molécula de oxígeno, deja en libertad el hidrógeno de la molécula 2, que irá á su vez á apoderarse del oxígeno de la 3. Como se producen fenómenos análogos en los dos polos, aunque en sentido inverso, habrá al mismo tiempo una multitud de descomposiciones y de recomposiciones. Lo que hemos visto en una fila de moléculas, pasa en todas las que unen los electrodos, y de aquí la multitud de átomos gaseosos que quedan en libertad, y la abundancia de burbujas que se forman y se desprenden en cada polo, produciendo el fenómeno á que se ha dado el nombre de *trasporte de los elementos*, aunque en realidad no hay semejante trasporte, como lo prueban experimentos muy sencillos y curiosos.

Estos movimientos vibratorios de los últimos elementos de la materia, á que se refiere Grothus, idénticos á los que supone Moignó en la teoría de la pila, pueden verificarse, allí como aquí, no solo al través de las masas líquidas, sino tambien de los cuerpos sólidos, y esto explica el fenómeno observado por Du Moncel, de que las electricidades estática y dinámica pueden existir simultáneamente en el mismo conductor, sin influencia sensible de su accion recíproca, pues ya dijimos que la electricidad estática se desarrolla, ó mas bien se acumula, en la superficie de los cuerpos; la dinámica establece una corriente de molécula en molécula, y es por consiguiente interior.

No podemos pasar en silencio, tratándose de las descomposiciones de la pila, la notable ley de los equivalentes electro-químicos que ha deducido Faraday de sus observaciones:

Cuando una misma corriente obra sucesivamente sobre una série de disoluciones, los pesos de los elementos separados están en la misma relacion que sus equivalentes químicos.

La exactitud de esta ley ha sido demostrada por infinitos experimentos, y De La-Rive añade que no se limita á los electrólitos interpuestos en la parte exterior del circúito de una pila, sino que conviene de la misma manera con lo que pasa en el interior de la misma pila. Se puede pues considerar el circúito de una pila, dice el mismo autor, cuando está cerrado, como una serie de conductores unidos por sus extremos, en los cuales circula la corriente de una manera idéntica y uniforme, verificándose por una sucesion de polarizaciones y recomposiciones de las electricidades contrarias de las moléculas sucesivas, de tal manera, que la operacion va acompañada de calor cuando la corriente encuentra cierta resistencia, y de descomposiciones químicas cuando las moléculas son compuestas; pero estos efectos son equivalentes en todas las partes del mismo circúito, inclusa la pila. Estas conclusiones de De La-Rive han sido combatidas últimamente por algunos físicos, entre ellos Despretz, cuyos experimentos prueban al parecer, que la electricidad cuando es poco intensa puede atravesar el agua sin descomponerla, como si fuera un conductor simple ó metálico.

Pouillet ha observado dos hechos que no deben dejarse de mencionar tambien, aunque este físico no ha podido enumerarlos como leyes sino de una manera incompleta. *El primero es el de la desigualdad en el poder químico de los polos*, que no ejercen acciones idénticas para separar los elementos de los cuerpos compuestos. Segun los experimentos hechos, el polo negativo en unos casos posee exclusivamente el poder descomponente; en otros, sin ser su accion exclusiva, predomina sobre la del polo positivo, y este á su vez ejerce en otros diversos una accion superior á la del polo negativo. Creemos que este hecho necesita y merece estudiarse mas. El segundo de los observados por Pouillet que debe-

mos mencionar, es el de los *polos múltiples* : consiste en que cuando hay varios líquidos interpuestos en el circúito de una pila, unos á continuacion de otros, se sirven mútuamente de electrodos, de manera que hay una doble descomposicion si son dos, para lo cual es preciso que la columna de cada uno de los líquidos sirva de electrodo negativo para su propia descomposicion, y de polo positivo para la descomposicion de la columna de líquido que está en contacto con ella (1).

Otro fenómeno notable, que no podemos pasar en silencio, es el de la *polarizacion eléctrica*, ó sea la propiedad que adquieren las láminas polares de las pilas voltáicas, de conservar adheridas á su superficie las burbujas de hidrógeno, lo cual impide que se efectúe la accion química y les hace presentar una gran resistencia al paso de la corriente. Al describir las pilas, indicarémos los medios que se emplean para obviar este inconveniente; por ahora nos limitarémos á citar el fenómeno secundario que produce la polarizacion y que ha sido observado por De La-Rive antes que por ningun otro físico. Consiste en que retiradas del circúito de la pila dos láminas de un metal no oxidable, como el oro y el platino, y sumergidas en un líquido conductor capaz de ser descompuesto por la corriente, ya sea este líquido el de la pila misma, ya una disolucion interpuesta en el circúito, con tal que una plancha comunique con el polo positivo y la otra con el negativo; retiradas, decimos, de la primera disolucion y sumergidas en agua pura, dan orígen á una corriente en sentido inverso á la que habian trasmitido en el circúito de la pila, y esta corriente, que como hemos dicho tiende sin cesar á debilitar la primitiva, es bastante fuerte á veces para que se hayan podido componer con ella *pilas* que se llaman *de corrientes secundarias*. Becquerel, que atribuye esta *polarizacion* al depósito que sobre las láminas forman los gases y otras materias trasportadas por la corriente que obra en el líquido inmediato,

(1) Véase para estas dos cuestiones el número *des Comptes rendus de l'Academie des Sciences*, correspondiente al mes de mayo de 1845.

ha imaginado para impedirlo dos aparatos despolarizadores, que no es de este lugar describir; basta para nuestro propósito hacer saber que existen.

ELECTRICIDAD DESARROLLADA POR LA COMBUSTION.—Algunos físicos habian pensado hace mucho tiempo, que á la combustion debe acompañar un desprendimiento de electricidad. Lavoisier, Laplace, Saussure y mas tarde Davy, trataron de confirmar dicha opinion, pero infructuosamente; la gloria estaba reservada á Pouillet, que descubrió las circunstancias que se habian omitido, y dió á los experimentos una regularidad que los ha hecho concluyentes, demostrando así la generalidad del principio de que en toda reaccion química hay desprendimiento de electricidad, y que la combustion, como verdadera reaccion, está sujeta á él.

De los varios experimentos hechos por el sábio físico, resulta que en la *combustion del carbon* el ácido carbónico se electriza positivamente y el carbon negativamente; *que en la combustion del hidrógeno*, este se electriza negativamente y el oxígeno positivamente; y en general que el cuerpo combustible adquiere la electricidad negativa y la llama, el hidrógeno carbonado, ó el ácido carbónico que se desprende toma la positiva.

ELECTRICIDAD DESARROLLADA POR LOS RAYOS QUÍMICOS DE LA LUZ. —*La luz* puede obrar tambien sobre las sustancias fotográficas y produce una manifestacion eléctrica, considerando como sustancias fotográficas todas aquellas que por la influencia de la luz experimentan cambios perceptibles, ya en su estado molecular, ya en su coloracion, como las sales de plata, conocidas tambien con los nombres de *sustancias sensibles* y *sustancias impresionables*. Becquerel es el que mas se ha distinguido en estos trabajos.

Al hablar de la electricidad desarrollada por las acciones

mecánicas, dijimos que la frotacion entre los cuerpos sólidos y los líquidos producia electricidad en muchos casos, y añadimos que podria muy bien ser uno de ellos el observado por Becquerel en el contacto de las masas de agua con la tierra; sin embargo este físico atribuye el fenómeno á una accion química, y sienta como una regla sin excepcion que el contacto de una masa ó de una corriente de agua con la tierra produce electricidad; la tierra toma un exceso notable de flúido positivo ó negativo, y el agua un exceso correspondiente del contrario, segun la naturaleza de las sales ú otros compuestos que tenga en disolucion. Los interesantes experimentos de Becquerel han confirmado así las ideas que Ampere emitió antes que nadie, y sobre las cuales han trabajado despues Barlow, Fox y Magrini.

Electricidad desarrollada por las acciones físicas.—*Las acciones físicas* que desarrollan electricidad son, como hemos dicho, las de la induccion por el magnetismo y por la electricidad misma, que estudiarémos mas adelante; las de *la capilaridad*, en cuyo exámen no entrarémos, porque los hechos en que se ha fundado Becquerel para atribuir á su accion los fenómenos eléctricos que ha observado, son en número muy corto y de resultados muy complexos; y por último las del *calor*, que nos ocuparán algunos momentos, porque son bastante importantes para esperar que con el tiempo lleguen á ser la base de aplicaciones útiles, como lo son ya hoy, de uno de los ramos mas interesantes del electro-magnetismo, bajo el nombre de *termo-magnetismo*.

Los holandeses fueron los primeros que hicieron conocer en Europa las turmalinas, cuya propiedad de adquirir el estado eléctrico y de atraer ó repeler en ese estado los cuerpos ligeros, servia muchos años há de entretenimiento en la India. Hace un siglo que sus propiedades eléctricas son objeto de investigacion para los sábios, y dirémos brevemente los resultados obtenidos por Canton, Wilson, Œpinus, Haüy y otros.

Cuando una turmalina está en estado eléctrico, presenta siempre hácia las extremidades de su eje *dos polos contrarios*, en los cuales se manifiestan, en el uno el flúido positivo y en el otro el negativo, no dando señal ninguna de electricidad su region media; por consiguiente los flúidos eléctricos están distribuidos en ella de una manera análoga á los flúidos magnéticos de un iman, segun verémos mas adelante.

Si una turmalina eléctrica se rompe trasversalmente, cada uno de sus fragmentos presenta dos polos dispuestos en el mismo sentido que los polos primitivos: otra analogía notable entre el flúido eléctrico de las turmalinas y el flúido magnético de un iman.

En cada turmalina hay dos límites de temperatura, entre los cuales están comprendidos todos los fenómenos eléctricos; por cima del límite superior y por bajo del inferior se conduce como los demás cuerpos y no manifiesta *electricidad polar*. Estos límites suelen ser 10° y 150°, y difieren poco en las turmalinas de la misma dimension, pero varian con la longitud.

Entre estos límites, cuando una turmalina se calienta con regularidad, sus polos eléctricos empiezan á aparecer y permanecen así durante todo el tiempo que la temperatura *sigue elevándose*.

Una turmalina polarizada por la elevacion de su temperatura, si se enfria con regularidad, sus polos desaparecen un momento para presentarse despues, pero en posicion distinta; es decir, que donde estaba el polo positivo aparece el negativo, y vice-versa; y estos polos por *enfriamiento* se mantienen así inversos á los primeros todo el tiempo que la temperatura *continúa bajando*.

La polarizacion pues parece depender del *cambio* de temperatura de tal modo, que á un mismo grado termométrico una turmalina puede presentarse en tres estados diferentes: en el natural si ha permanecido largo tiempo á dicha temperatura; polarizada si ha llegado á ella aumentando el grado

de calor, y polarizada tambien, pero en sentido inverso, si la ha adquirido por enfriamiento.

Haüy ha observado un cambio de polos durante la elevacion de temperatura, y otro contrario en el enfriamiento; pero este fenómeno no sucede siempre, y podria depender de una cantidad diferencial de calor entre las capas de la superficie y las centrales.

Una turmalina que se calienta ó enfria por una sola de sus extremidades, parece que no posee durante algunos instantes sino una sola de las dos electricidades en toda su longitud; pero como en los demás fenómenos electricos se desarrollan siempre las dos electricidades á un tiempo, es de suponer que en este caso, aparentemente excepcional, los dos flúidos existen tambien, pero repartidos con desigualdad, de modo que no son perceptibles.

La accion del calor no influye solo en las turmalinas y otros cristales para producir la electricidad, sino que obra tambien sobre los cuerpos buenos conductores, y particularmente sobre los metales, desarrollando los flúidos en el estado que hemos dado á conocer con el nombre de *corriente eléctrica;* pero las que son debidas solo á la accion del calor se llaman corrientes *termo-eléctricas*, y fueron descubiertas en 1821 por el Dr. Seebeck, de Berlin.

Este nuevo manantial de electricidad promete ser tan ventajoso, de tan cómoda aplicacion en la industria, tan á propósito para la construccion de los generadores eléctricos que hayan de emplearse en los sistemas que vamos á describir en la segunda parte de esta obra, que no dudariamos en entrar de lleno en su estudio, si no fuera apartarse demasiado del objeto que nos hemos propuesto al dar este bosquejo histórico elemental de la electricidad; es necesario, y aun así serémos tal vez demasiado prolijos, dedicar estas páginas á las acciones que tienen ya aplicaciones á las artes y á la industria para desarrollar la electricidad, sin hacer con las otras mas que mencionarlas. Presentarémos sin embargo en la

accion del calor, las condiciones mas notables con que se produce la electricidad, y que pueden servir de base á nuevos descubrimientos.

Si se sueldan por los extremos dos alambres ó barras de metales distintos, de manera que formen un circúito, y se mantienen las dos soldaduras á temperaturas diferentes, se manifiesta al través de estos metales el flúido eléctrico en la forma ya citada de corriente, y es tanto mas enérgica la manifestacion, cuanto mas considerable es la diferencia de temperatura y cuanto mayor es el número de soldaduras entre los dos metales; conservando á un grado de calor los pares y á otro los impares, la manifestacion persiste mientras se mantiene la diferencia. El cobre y el bismuto, ó el bismuto y el antimonio, son los metales que producen resultados mas notables por su intensidad.

No es una condicion indispensable soldar dos metales diferentes para desarrollar corrientes termo-eléctricas; M. Adie ha probado que basta una simple diferencia de densidad entre dos pedazos soldados del mismo metal. Por la misma razon cuando se calientan ó se enfrian algunos puntos de un círculo metálico homogéneo, se determinan bajo ciertas condiciones señales eléctricas mas ó menos enérgicas.

Si se reflexiona que empleando agua helada y agua hirviendo como orígen calorífico, se puede obtener durante todo el tiempo que se quiera una diferencia constante de temperatura, se comprenderá fácilmente que las manifestaciones ó corrientes termo-eléctricas pueden ser de una regularidad perfecta, cual no se producen por medio de otras acciones; así es que al descubrimiento de Seebeck y á las pilas ó generadores termo-eléctricos, que fundados en las propiedades que acabamos de dar á conocer han construido Nobili y Melloni, se deben las observaciones de Ohm, Feschner y Pouillet para deducir las leyes de la conductibilidad eléctrica de los metales, y las de la intensidad de las corrientes eléctricas, segun su espesor, su longitud, sus derivaciones y la composicion de los

elementos metálicos ó no metálicos del circúito, como verémos en el capítulo VI.

Cuál sea la causa de la manifestacion eléctrica en los fenómenos termo-eléctricos, es una cuestion que no ha podido resolverse todavía. Unos la atribuyen á la formacion de grupos cristalinos en los metales, durante su enfriamiento, que impiden la propagacion uniforme del calor en todos sentidos; otros pretenden que por efecto de una accion calorífica desigual, se determina una reaccion química, que desarrolla las dos electricidades. Sea lo que quiera, estos fenómenos presentan anomalías tan extrañas, que es difícil dar una teoría que concuerde con todos ellos.

ELECTRICIDAD DESARROLLADA POR LAS ACCIONES FISIOLÓGICAS.— Las *acciones fisiológicas* hemos dicho que son tambien otro orígen de la electricidad; y con efecto; en el torpedo, en la anguila eléctrica, en las gimnotas y otros peces se observan efectos eléctricos de una intensidad tal, que sus conmociones suelen ser mas enérgicas que las de las mas fuertes botellas de Leyden. La facultad que tienen estos animales de producir la electricidad reside en un órgano particular, en el cual se ha creido encontrar una analogía sorprendente con la pila de Volta, y la conmocion que se siente al tocar dichos peces es consecuencia de un fenómeno voluntario; está por consiguiente este estado eléctrico en tan íntima relacion con el fenómeno de la vida, que cesa cuando cesa la vida del animal. Matteucci y M. de Bois Raymond han hecho recientemente observaciones muy nuevas é interesantes sobre esta clase de electricidad.

En la *vegetacion* se desarrolla tambien el flúido eléctrico, y Pouillet ha conseguido recoger las electricidades producidas, haciendo germinar las plantas en cápsulas aisladas y en una atmósfera suficientemente seca, con lo cual confirma el principio general de que *siempre que el oxígeno se combina con otros cuerpos hay desprendimiento de electricidad* : el

oxígeno toma la electricidad positiva, y el cuerpo combustible, la electricidad negativa.

Conocidas ya las principales fuentes de la electricidad dinámica, pasarémos á describir los aparatos en que se desarrolla, empezando por los que se fundan en las reacciones químicas.

DESCRIPCION DE LAS PILAS VOLTÁICAS.

Sentado el principio de que el contacto de dos cuerpos diferentes produce un desarrollo de electricidad, y que este es mayor cuanto mas fuerte es la reaccion química que se produce; conocidas las leyes sobre el trasporte de los elementos, sobre los equivalentes electro-químicos, la distribucion de la electricidad en las pilas, y los demás hechos que hemos citado despues de dar la teoría de estos aparatos, es fácil comprender su construccion y juzgar con acierto de la bondad y de los diferentes usos á que puede destinarse cada uno de los que vamos á describir.

Los generadores de la electricidad voltáica se componen todos de dos elementos, uno electro-positivo y otro electro-negativo, puestos en contacto, y los dos grupos principales, de los cuatro en que pueden dividirse, se diferencian en que los cuerpos se sumergen en uno ó en dos líquidos. Estas últimas pilas son de orígen muy moderno, y no han empezado á construirse hasta mucho despues de haber probadó la grande influencia de la accion química en el desarrollo de la electricidad, si bien asegura Du Moncel que Volta tuvo desde el orígen de su descubrimiento la idea de la pila de dos líquidos, y que Davy construyó varios sistemas de ellas, aunque sin obtener ningun resultado ventajoso, puesto que no se aceptaron, ni él mismo las usó en sus experimentos.

Pilas de un solo líquido.

La pila de columna fué la primera que construyó Volta, y se ha dado á conocer al principio de este capítulo; solo recor-

darémos que sus elementos, compuestos de un disco de zinc y otro de cobre, están separados por redondeles de paño ó de carton humedecido, y superpuestos unos á otros, formando una columna (figura 23). El inconveniente de esta pila es que no puede acrecentarse su poder aumentando el número ni el tamaño de los discos, porque la presion que sufren los redondeles de paño les hace escupir el líquido, y no solo quedan aquellos demasiado secos, sino que al correr este por los lados de la columna, establece una comunicacion entre los pares, dando lugar á recomposiciones parciales, por lo cual no adquiere nunca toda la tension que debiera.

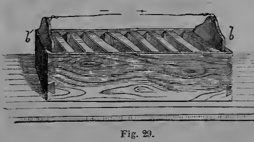


Fig. 29.

La *pila de Cruikshank ó de artesa*, con que fué reemplazada la de columna, está representada en la figura 29. Las láminas de zinc y de cobre son rectangulares, y están soldadas una á otra para formar los pares ó elementos. Estos se colocan de canto y paralelamente en una caja de madera *b b'*, cuyas paredes interiores se revisten con un betun no conductor; en el intervalo que queda entre cada dos pares, es donde se echa el agua acidulada, y esta, que puede llamarse lámina de líquido, es lo que reemplaza el redondel de paño de la columna. Debe evitarse con el mayor cuidado que el líquido de un intervalo comunique con el de otro, tanto por los costados como por la parte superior de los pares.

Reuniendo varias pilas entre sí se forma una batería voltáica ó galvánica, y la reunion, como hemos dicho ya, puede hacerse de dos modos. Si las pilas tienen, por ejemplo, cien elementos de un decímetro cuadrado, y se reunen dos, ha-

ciendo comunicar el polo negativo de la una con el positivo de la otra, y el positivo de la primera con el negativo de la segunda, se tendrá una batería de doscientos elementos de un decímetro cuadrado; si por el contrario, se hacen comunicar los polos negativos entre sí y los positivos tambien, uno con otro, se tendrá una batería de cien pares, cuya superficie es de dos decímetros cuadrados.

La Sociedad Real de Lóndres hizo construir, en 1806, una batería de doscientas pilas, compuesta cada una de diez elementos de 32 pulgadas cuadradas de superficie, de suerte que el número de pares era de 2,000, y la superficie total de 128,000 pulgadas cuadradas. Con este aparato consiguió Davy, en 1808, descomponer la potasa y la sosa.

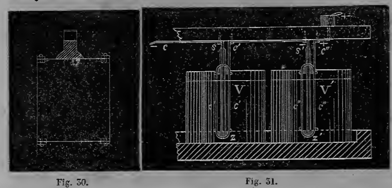


Fig. 30. Fig. 31.

Pila de Wollaston. Para indicar mejor la construccion de esta pila, examinarémos solo dos pares representados de corte en la figura 31, y de frente en la figura 30; *c s* es el primer cobre, *s z* el primer zinc, y están soldados uno á otro en *s*; el segundo cobre *c' s'* rodea la primera lámina de zinc sin tocarla, y viene á parar al punto *s'*, donde está soldado el segundo zinc *s' z'*; el tercer cobre rodea asimismo el segundo zinc, etc.: unos pedazos de corcho colocados en cada par, sirven para afirmar el aparato y mantener separados el cobre del zinc. Todos los pares se hallan unidos á una barra de madera, y tienen cada uno debajo un vaso con agua aci-

dulada; de suerte que basta para poner la pila en actividad sumergir los pares en los vasos que les corresponden, lo cual se consigue con solo bajar la barra, conservando su horizontalidad (figura 32). La electricidad positiva pasa del primer zinc al segundo cobre, por la capa de líquido que las separa; del segundo zinc al tercer cobre pasa de la misma manera, y así de un par á otro.

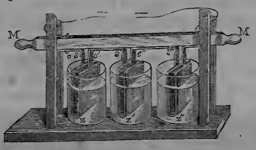


Fig. 32.

Esta disposicion ofrece, entre otras cosas, dos grandes ventajas: 1.ª que el zinc presenta toda su superficie á la accion del líquido, y 2.ª que el flúido no tiene que atravesar sino la série de moléculas de una capa muy delgada de líquido para llegar hasta el cobre; y esta capa, que se altera prontamente en la pila de artesa con la disolucion de sulfato de zinc, puede aquí renovarse, mezclándose con el resto del líquido que hay en el vaso.

Pila de Faraday ó de Muncke. Esta pila difiere muy poco en la forma de la de Wollaston: se compone tambien de láminas de cobre y de zinc; pero las de cobre se hallan separadas entre sí por una hoja de papel, que impide los efectos del contacto, pues en esta pila se introducen todos los elementos en un mismo vaso, que contiene una disolucion muy débil de ácido sulfúrico y de ácido nítrico. Asegura Deguin que esta pila tiene sobre la de Wollaston la ventaja de ser muy compacta, ó de ocupar muy poco espacio, puesto que cien pares no necesitan sino un metro, y produce efectos mas enérgicos por la proximidad de los elementos; esta circuns-

tancia, sin embargo, debe exigir la renovacion del líquido muy á menudo, y tal vez á eso se debe el que sea muy poco usada.

La pila de hélice no es en realidad sino una modificacion de la de Wollaston; está destinada particularmente á producir grandes cantidades de electricidad con muy poca tension.

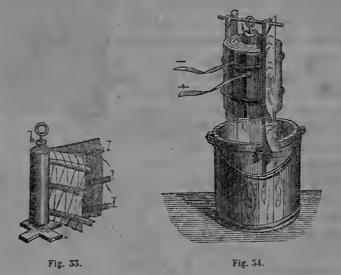


Fig. 33. Fig. 34.

Las figuras 33 y 34 representan las disposiciones adoptadas por Pouillet para la pila de la Facultad de Ciencias de Paris. En un cilindro de madera *b* se arrollan dos láminas, una de zinc y otra de cobre, separadas por dos ó tres tiras de orillo de paño *l*, unidas entre sí por medio de bramantes, cuyo grueso ha de ser algo menor que el del orillo. Si de esta manera se forman pares cuyos elementos tengan de superficie 5 ó 6 metros cuadrados, con uno solo se producen efectos físicos muy enérgicos, y cuando se reunen 20 ó 30, se tiene una batería de una fuerza extraordinaria, capaz de enrojecer y liquidar instantáneamente, no solo alambres, sino verdaderos vástagos de metal.

Pila de Smee. El elemento de la pila de Smee está repre-

sentado en las figuras 35 y 36; la primera es una vista de frente, y la segunda un perfil. Se compone de una lámina *p* de *platino platinado* comprendida entre dos láminas *z*, *z* de *zinc amalgamado*, cuyo ancho es solo de una tercera parte ó algo mas que el de la lámina de platino. Esta se halla sujeta por el borde superior entre dos reglas de madera *r*, *r*, cuya prolongacion sirve para apoyarla en el borde del vaso de vidrio ó de porcelana en que se sumerge el elemento; la parte superior de las láminas de zinc se sujeta y atornilla contra la parte exterior de las reglas de madera, cuyo grueso, por consiguiente, determina la distancia entre la hoja de platino y las de zinc.

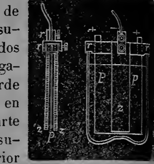


Fig. 35 y 36.

El líquido que se ha adoptado generalmente para sumergir el elemento de Smee, es una mezcla de agua y ácido sulfúrico, en las proporciones de 7 y 1. En los elementos de grandes dimensiones, como el que está representado en las figuras, la lámina de platino tiene 200 milímetros de alto y 130 de ancho; las de zinc, 180 de alto y 55 de ancho. En este caso hay que sujetar los otros tres bordes de la hoja de platino con un marco de madera.

En una pinza ó tornillo metálico, que comprime los bordes superiores de las dos hojas de zinc contra la regla de madera, es donde se sujeta el alambre que forma el *reóforo negativo*, y el *positivo* en otra pinza ó tornillo que aprieta la hoja de platino.

En la pila de Smee, como en todas las demás en que se emplea zinc, este metal se amalgama, desde que Kemp dió á conocer en 1826 las ventajas que resultan de dicha operacion. Cuando el zinc no tiene la superficie amalgamada, lo ataca mas directa é incesantemente el ácido en que se halla sumergido, por muy diluido que esté; de suerte que la su-

perficie se halla constantemente cubierta de burbujas de hidrógeno, cuyos efectos de polarizacion conocemos. Por el contrario, cuando el zinc está amalgamado, es negativo con respecto al mercurio, y el ácido, electro positivo, no puede ya atacarlo directamente; no vuelve á ser atacable, sino cuando la corriente al circular le da un exceso de electricidad positiva, y entonces, cosa singular, es mas oxidable y se trasforma en sulfato con mas facilidad que si no estuviera amalgamado, la accion química es mucho mas rápida, y la corriente, por lo tanto, mas intensa.

Para amalgamar el zinc se moja primero la superficie de las láminas en agua acidulada, y se sumergen en un baño de mercurio, durante un minuto próximamente; se retiran en seguida y se ponen apoyadas sobre una de las esquinas para que escurran todo el mercurio excedente. Las láminas serán mejores todavía si se empapan otra vez, primero en el agua acidulada, y despues en el baño de mercurio, porque la amalgamacion dura entonces tanto como la lámina.

A pesar de que esta operacion es pronta y sencilla, los físicos y los industriales la encuentran demasiado incómoda; se ha tratado pues de obtener la amalgamacion instantáneamente, por la simple inmersion de las láminas de zinc en un líquido, y un sábio inglés ha propuesto usar una mezcla de nitrato de bióxido de mercurio y ácido cloro-hídrico. Basta un segundo de inmersion para que quede perfectamente amalgamada una plancha de zinc, por sucia y gastada que se halle.

El efecto del *platino platinado* se explica, como la amalgamacion del zinc, del modo siguiente. Es un hecho reconocido que, segun el estado en que se encuentre, el platino tiene la propiedad de cubrirse con mas ó menos facilidad de una capa gaseosa que impide el contacto inmediato del líquido, y por consiguiente, de los elementos gaseosos que se dirigen á su superficie, haciendo las veces de electrodo positivo ó negativo. Sea por su aspereza, sea por cualquiera otra razon, el

platino platinado parece que tiene menos tendencia á retener esas capas gaseosas, obra como cuerpo mejor conductor, y da mucha mas energía á la corriente.

El depósito de platino negro sobre las hojas de platino, que es lo que constituye el platinado, se obtiene sumergiendo las láminas de platino bien limpias en una disolucion de cloruro doble de potasio y de platino, y poniéndolas en comunicacion con el polo negativo de una pila que no tenga demasiada intensidad; el hilo positivo se introduce en la disolucion, y el platino se deposita sobre la lámina. Si el electrodo positivo es tambien una hoja de platino, el cloro lo ataca y la disolucion conserva el mismo grado de saturacion.

Tuvo Smee la idea de emplear láminas de plaqué de plata y platinarlas, pero el pulimento de la plata no se presta bien á esta operacion, y no ha dado buenos resultados.

M. Boquillon ha ideado un procedimiento que parece mejor: se reduce á tomar una hoja de cobre del comercio y á depositar en ella una capa de cobre, disponiendo el aparato de modo que la capa sea rugosa y cubierta de ligeras asperezas; por medio de una segunda operacion cubre esta capa con un depósito de plata, que participa del mismo estado superficial, y sobre esta deposita por último la capa de platino pulverulento y adherente que da á la hoja, en alto grado, la propiedad de dejar escapar el hidrógeno.

Es de presumir que con las planchas de Boquillon, que son mas eficaces que las de Smee, pueda aumentarse el tamaño de las láminas de zinc relativamente al de la de platino platinado.

En la pila de Smee las acciones químicas y eléctricas son las mismas que en las de Wollaston, con la diferencia de que el zinc no está amalgamado en la última; carece por consiguiente de las ventajas que le da la amalgamacion, y á eso se debe sin duda la rápida diminucion que se observa en la intensidad de la pila. Seria fácil evitar este inconveniente, amalgamando el zinc de los elementos de Vollaston; pero no

parece que el cobre pueda ser nunca tan eficaz como el platino platinado con que se le ha sustituido en la pila de Smee, y que tan ventajoso es para conservar la intensidad de la corriente, puesto que facilita, como hemos dicho, el desprendimiento del hidrógeno.

Poggendorff ha conseguido tambien dar á los elementos formados de una plancha de zinc amalgamado y otra de cobre, sumergidas en ácido sulfúrico diluido, una constancia y una fuerza notable, cubriendo la lámina de cobre con una capa pulverulenta, de cobre tambien, como la del platino platinado, y que pudiera por lo tanto llamarse de cobre cobreado.

Con objeto de utilizar el zinc cuando está demasiado gastado para servir en la pila que acabamos de describir, Smee ha imaginado formar una pila á que se ha dado el nombre de *pila de resíduos*. Coloca para eso en el fondo de un vaso los fragmentos de zinc y los cubre de mercurio, en el cual introduce un alambre de plata contenido en un tubo de vidrio, para que no comunique por ningun punto con el ácido sulfúrico diluido de que llena el vaso; este alambre termina en un tornillo, donde se asegura el alambre que ha de formar el electrodo negativo; el positivo se asegura á su vez en otro tornillo, fijo á una lámina de plata platinada, que se sumerge en el líquido lo mas cerca posible del mercurio, pero sin tocar á él de ninguna manera.

Con la pila de resíduos, que tiene la ventaja de poderse montar en cualquier parte, no se pierde nada de zinc ni de mercurio; se utiliza hasta la última partícula de metal, y es por consiguiente muy económica. El líquido debe contener, cuando mas, una parte de ácido sulfúrico del comercio por tres de agua, y es preferible que esté menos acidulada.

Smee ha construido pilas en que reemplaza el platino ó la plata platinada, con paladio, cobre plateado, hierro ó carbon de leña, que ha conseguido platinar tambien.

Edmond Becquerel ha tenido la idea de aumentar la energía de la pila de Smee y las demás de un líquido, aplicando

el hecho observado, de que dos láminas del mismo metal sumergidas en un líquido excitador desarrollan electricidad cuando una de ellas se pone en movimiento y la otra permanece en reposo. Du Moncel cree, contra la opinion misma del autor de la idea, que esta podria hacerse práctica en establecimientos galvano-plásticos, donde costara poco aplicar un motor al movimiento de los electrodos negativos de cada par; pues el desprendimiento eléctrico llega á ser, cuando menos, igual al que se obtiene con las pilas de corriente constante, de que hablarémos despues.

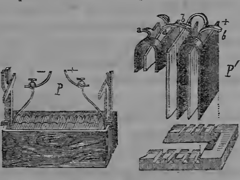


Fig. 37.

Pila de Young. La figura 37 representa la disposicion imaginada por James Young para formar baterías de un gran número de elementos, que ocupen muy poco espacio. *P* es el conjunto ó la pila en accion, *P'* manifiesta en mayor escala los detalles de la construccion. Se ve en ella la forma en que debe recortarse la hoja de zinc con el apéndice *a*, que se suelda á otro apéndice igual *b* de la lámina de cobre, recortada exactamente como la de zinc; solo que al unirlos para juntar las dos planchas, se ponen siempre de un lado los apéndices de zinc, y del otro los de cobre.

Por medio de esta disposicion, cada lámina de zinc queda entre dos de cobre, y cada una de las de cobre entre dos de zinc, y resulta como en la pila de Smee, que el zinc es atacado y se carga de electricidad negativa, que se comunica

por un conductor metálico al cobre con el cual está soldado, de suerte que, en el mismo momento, todas las planchas de zinc y todas las de cobre se cargan de electricidad negativa, y el hidrógeno que está por su parte cargado de electricidad positiva, encuentra á poca distancia una superficie negativa, que lo atrae, y sobre la cual se desprende, despues de haber depositado en ella su electricidad positiva.

Es muy importante en las pilas de esta especie que los elementos de zinc sean atacados todos con la misma energía, porque los dos de cobre que rodean cada uno de zinc no son los que reciben de él la electricidad negativa que debe neutralizar la positiva del hidrógeno que el zinc ha puesto en libertad.

El simple exámen de la figura hace inútil advertir que todos los elementos entran en la misma cuba ó artesa.

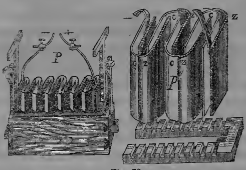


Fig. 38.

Pila de Munch. Mucho mas sencilla y mas fácil de construir que la pila de Young es la de Munch, que reune además todas sus ventajas. Está representada en la figura 38, y como se ve, no difiere sino en la disposicion de las hojas, que en vez de estar unidas por un apéndice en la parte superior, se juntan lateralmente por una soldadura que corre de arriba abajo; se doblan despues, como indica la figura, y se forma una especie de greca, en que unas láminas encajan en el espacio que dejan otras entre sí, cuidando que haya siempre una de zinc entre dos de cobre. Resulta que pueden reunirse de

esta manera un gran número de elementos en un espacio tan pequeño, que para cincuenta basta una pila ó artesa de madera calafateada que tenga 3 decímetros de longitud. Nada hay tan cómodo como esta pila cuando no se necesita una accion constante; las planchas se mantienen en su posicion con unas cuantas reglillas ó tarugos de madera, tiene muy poco peso, ocupa un espacio muy pequeño y los efectos son enérgicos y bastante durables, sobre todo si se amalgaman las planchas de zinc, operacion á la cual se presta muy bien su forma.

Pila de Sturgeon. Un elemento de esta pila es el que representa la figura 39. Se compone de un vaso cilíndrico de hierro colado, de 250 milímetros de altura y de 76 de diámetro; se llena de un líquido compuesto de ocho partes de agua y una de ácido sulfúrico; en el centro se coloca una hoja ó cilindro de zinc amalgamado, que descansa sobre un disco de madera. Los fenómenos que se producen en este elemento son idénticos al de la pila de Smee, del cual difiere solo en que el platino está reemplazado por el hierro del vaso, de cuyas paredes interiores se desprende el hidrógeno con abundancia. Se ha observado que la intensidad de la corriente es mayor cuando la pared interior está oxidada, y se comprende, en efecto, que esto debe suceder, porque el hidrógeno reduce el óxido, ó porque las asperezas del hierro regenerado facilitan el desprendimiento del gas; en ambos casos la disimulacion de la electricidad producida es mayor, porque es menor la polarizacion. Una pila de ocho ó diez elementos produce efectos bastante enérgicos, pero poco constantes, á menos que se renueve frecuentemente por medio de un sifon el agua acidulada con el ácido sulfúrico que se emplea como líquido excitador. El Dr. Fau dice que la energía de estas pilas aumentaria, reemplazando el vaso de hierro fundido por un cilindro hueco de la misma sustancia, conte-

Fig. 39.

nido por supuesto en otro vaso; y propone otra modificacion que la convierte en una pila de dos líquidos, de la cual nos ocuparémos mas adelante.

Pila de Wheatstone. El elemento de esta pila (figura 40) se compone de un vaso poroso de barro á medio cocer, que se llena de una amalgama pastosa de zinc; este vaso se halla dentro de otro de vidrio ó de porcelana, que contiene una disolucion de sulfato de cobre; se introduce en la amalgama un alambre de cobre, que es el polo negativo de la pila, y al rededor del vaso poroso, en el baño de sulfato de cobre, hay una hoja de este metal, que comunica con un alambre de lo mismo, y forma el polo positivo de la pila. El zinc de la amalgama es atacado con el tiempo, aun cuando no se comuniquen los dos polos, pero la accion es débil; por el contrario, cuando la comunicacion se establece, la accion es viva, el agua se descompone, el zinc se oxida, la amalgama se electriza negativamente, y esta electricidad se trasmite á la hoja de cobre sumergida en el baño de sulfato cúprico; el hidrógeno (positivo) que resulta de la descomposicion del agua se dirige pues al cobre, y allí reduce el óxido del sulfato para dar lugar á un depósito de cobre metálico, mientras que el ácido queda libre para combinarse con el óxido de zinc. Así es que por cada equivalente de zinc oxidado hay otro de cobre revivificado. El sulfato de zinc que se forma, pasa á ocupar la parte superior de la amalgama en el vaso poroso, y mientras este permite la libre circulacion del líquido y la disolucion de sulfato de cobre se mantiene á un grado conveniente de saturacion, el elemento conserva una fuerza sensiblemente constante.

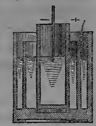
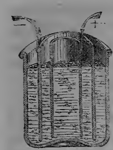


Fig. 40.

Pila de Bagration. La pila del príncipe de Bagration consiste en una série de láminas ó cilindros paralelos de zinc y de cobre, colocados á una distancia muy pequeña unos de otros, como los de la figura 41, que representa dos solamen-


Fig. 41.

te; pero cuando son mas, comunican convenientemente entre sí. Estos cilindros ó láminas se introducen en un vaso de vidrio ó de madera, se llenan los intermedios de arena ó de tierra, y se riega de vez en cuando con una disolucion de clorhidrato de amoniaco.

El inconveniente de estas pilas es que la arena se aglomera con la sal de amoniaco cuando esta se seca y forma costras perjudiciales al desarrollo de electricidad; pero como su accion dura semanas y meses enteros, hasta que se destruye el zinc, y es muy económica, se usa bastante á menudo.

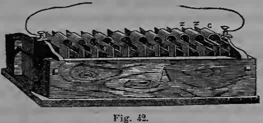


Fig. 42.

Pila de Cooke ó de arena. La mas sencilla de todas las pilas, la mas empleada en las líneas telegráficas de Inglaterra, y que segun parece se ha adoptado en los telégrafos del gobierno español, es la de Cooke, construida segun el sistema de la pila de Bagration. Consiste en una artesa *A* de madera fuerte (figura 42), de encina por ejemplo, de 75 centímetros de largo por 14 de ancho, y dividida con pizarras en veinte y cuatro compartimentos, lo cual hace que tenga cada uno 3 centímetros próximamente. Los elementos electro-negativos son planchas de cobre *c*, y los positivos otras de zinc *z*; estas planchas tienen 112 milímetros de altura por 87 de ancho y el espesor del zinc es de 5 $^1/_2$ milímetros. Las planchas están reunidas de dos en dos por tiras de cobre de 25 milímetros de ancho, soldadas, ó lo que es mejor, claveteadas;

una simple lámina de zinc empieza la série, y forma el polo negativo con el alambre de cobre que está unido á ella; otra de cobre acaba la série, y forma el polo positivo. Los pares intermedios se colocan cabalgando sobre las pizarras, de modo que las dos hojas metálicas que los constituyen entren en dos celdas ó intermedios contiguos. Las extremidades superiores de los pares se barnizan para conservarlos limpios y evitar la corrosion. Las celdas se llenan, hasta unos 25 milímetros del borde superior, de arena humedecida con un líquido compuesto de una parte de ácido sulfúrico concentrado y quince de agua, siendo suficiente que la arena esté solo humedecida, y no con un exceso de líquido; circunstancia que permite trasportar fácilmente la pila de un lado á otro, lo cual seria difícil si las celdas se llenasen solo de agua acidulada.

Es mucho mas conveniente aumentar el número de pares, sirviéndose de una disolucion diluida, que recurrir á un líquido muy ácido. El número de pares varia en las líneas telegráficas, segun la distancia entre las estaciones; por lo general es de 24 para una distancia de 10 á 15 millas inglesas (3 $^1/_2$ á 5 leguas españolas), de 48 para una distancia de 40 á 60 millas (13 á 20 leguas), etc. Una pila nueva, montada con cuidado, puede funcionar por espacio de seis ú ocho meses, si los despachos no se multiplican mucho; algunas han hecho un servicio excelente durante un año, sin mas que añadirles un poco de agua acidulada. Tambien se renueva la arena cuando está ya demasiado sucia, expulsándola por medio de un chorro fuerte de agua, si no se quiere desarmar la pila.

No es necesario advertir que en esta pila, como en las demás en que se emplea el zinc, conviene amalgamarlo de la manera indicada al hablar de la pila de Smee, con objeto de obtener las ventajas allí marcadas. En cuanto á sus inconvenientes, deben ser los mismos que los de la pila de Bagration, y como son mucho menos poderosas que las de dos líquidos, no se emplean generalmente sino para los telégra-

fos de agujas, que necesitan menos fuerza electro-motriz.

Pila de Prax. El elemento combinado por el profesor Prax es tambien una modificacion de la pila de Bagration. Se compone de una plancha de zinc y otra de cobre, separadas por cinco pedazos de franela doble y dos diafragmas de papel, empapados de líquidos excitadores. Para cargar esta pila se empieza por humedecer las dos superficies metálicas con una disolucion de sal amoniaco; despues se coloca sobre la lámina de zinc uno de los pedazos de franela, empapado en la misma disolucion; sobre esta franela se pone un diafragma de papel, igualmente humedecido, y encima otros dos pedazos de franela, que además de la disolucion tengan una capa de sal amoniaco en polvo; un nuevo diafragma de papel va encima de ellos, y sobre él los dos últimos pedazos de franela, impregnados solamente de agua; encima de esta especie de colchon de lana es donde se coloca la lámina de cobre, y se consigue la adherencia ó el contacto perfecto, cargándola con un peso. Segun su autor, la pila dispuesta de esta manera tiene muchas ventajas sobre las demás de corriente débil, y modificándola ligeramente, ha podido darles una energía mas que suficiente para obtener magníficas chispas, y quemar hilos de platino con solos cinco elementos.

La modificacion consiste en no emplear mas que cuatro pedazos de franela, empapados todos en la disolucion de sal amoniaco, y cubiertos con una capa de sal excitante. Las dos capas mas próximas al zinc son de cardenillo pulverizado, y las otras dos de sal amoniaco, tambien en polvo, pero separadas por un diafragma de papel humedecido, que impide la mezcla de los dos cuerpos. Se concibe que podrian emplearse dos pedazos de franela en vez de cuatro; pero la accion eléctrica seria menos duradera.

Pila de Moenig. Otra modificacion de la pila de arena que hemos descrito, es la de Moenig; se diferencia en que en vez de arena, el inventor emplea óxidos, ácidos ó sales me-

tálicas, secas y reducidas á polvo, que mezcla próximamente en partes iguales con almidon, para formar una especie de pasta porosa. Mientras la pasta está seca no se manifiesta ninguna accion eléctrica; pero en cuanto se riega con una disolucion excitante, se produce un desarrollo de electricidad tanto mas enérgico, cuanto mas porosa es la pasta; razon por la cual Moenig introduce algunas veces en ella vidrio molido ó sílice. Si las proporciones de óxidos ó de sales metálicas son mayores que las de almidon, el desprendimiento eléctrico es mas considerable, pero la corriente es menos constante. La inversa sucede en el caso contrario; la corriente es mas débil, pero mas constante.

Pila de los Sres. Fabre y Kunemann. Esta pila se compone de planchas de zinc, dispuestas verticalmente y revestidas por un lado con una hoja de plomo, y por el otro con un diafragma de lana, forrado de tela; los intervalos se llenan de polvo de carbon de retortas, sobre el cual se echa gota á gota el agua acidulada.

Du Moncel considera esta pila como una simple inversion de la de Volta, en que el elemento cobre está reemplazado por el carbon, porque la hoja de plomo no interviene sino para tomar la polaridad del carbon; pero ofrece la ventaja inmensa de poderse montar de una manera permanente y cómoda. Basta para eso apretar todos los pares entre dos fuertes tablas de madera, por medio de dos collares ó marcos de hierro, y colocarlos en seguida bajo el depósito de agua acidulada. (Véase en la figura 43.)

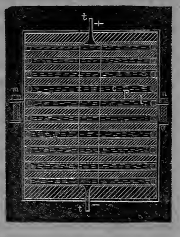


Fig. 43.

Hay que tomar varias precauciones al montar esta pila.

En primer lugar es preciso que los intervalos de los pares estén guarnecidos en los lados de la pila con una capa de betun, para que los líquidos que se filtran al través del carbon pulverizado no goteen por los lados, y establezcan una comunicacion líquida entre los diferentes elementos. Es preciso además darle una disposicion particular para que el líquido excitador corra de una manera lenta y uniforme. Esto se consigue disponiendo al través de los pares, sobre una superficie bien plana y de nivel, una tira de lona, sobre la cual apoya el fondo de un saco de fieltro, que tiene la forma de una tolva. El saco está sostenido sobre una tabla de madera ligeramente inclinada, y el líquido goteando al través de él, se reparte con igualdad entre todos los elementos por efecto de la endósmosis que produce la tira de lona.

Segun sus autores, esta pila puede marchar durante seis meses sin interrupcion y con regularidad.

Pila de Weare. En el elemento de Weare, las planchas de zinc y cobre de la pila de Wollaston están cubiertas de yeso ó de un cemento poroso, y adaptadas á un marco de madera, cubierto de betun de fontaneros, cuyo interior sirve de celda para el líquido excitador. En estas celdas se echa paja muy picada, carton piedra, y aun pedazos de carton comun, con lo cual se reemplaza la arena de las otras pilas de esta especie que hemos descrito.

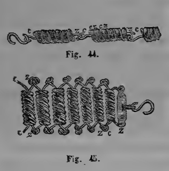


Fig. 44.

Fig. 45.

Pila de Pulvermacher. Una disposicion nueva é ingeniosa de la pila de cobre y zinc es la representada en las figuras 44 y 45, que ha imaginado M. Pulvermacher, para obtener una gran tension en un volúmen muy pequeño, y para que sea al mismo tiempo susceptible, por la movilidad de sus elementos, de prestarse á toda clase de movimientos y posiciones. La forma de una ver-

dadera cadena que tiene esta pila, cuyos eslabones son otros tantos elementos voltáicos, ha correspondido perfectamente al objeto que se propuso el inventor, que tiene hoy dia montada su fabricacion en grande escala.

Cada elemento se compone de un pedacillo de madera, ligeramente convexo en dos de sus caras opuestas, sobre el cual se arrollan en hélice, uno junto á otro, dos alambres de cobre y de zinc. Estos alambres están hasta cierto punto encajados en la madera, porque la máquina que se emplea para enrollarlos hace en ella primero una especie de ranura bastante profunda, en la cual se introducen solo con objeto de evitar que se corran. Para aumentar el tamaño de las superficies metálicas destinadas á ejercer la accion electromotriz, Pulvermacher emplea á veces en lugar de alambres cilíndricos, alambres planos que coloca de canto; disposicion con la cual se obtiene un desprendimiento eléctrico tanto mas considerable, cuanto que el contacto de las superficies metálicas con el aire atmosférico facilita el desprendimiento del hidrógeno, que se combina con el oxígeno de la atmósfera, y esta hace por lo tanto las veces de aparato despolarizador. De aquí proviene la constancia relativa de los efectos de esta pila.

Las figuras 44 y 45 indican la manera como pueden unirse los elementos que han de componer la pila ó cadena voltáica. Cuando su número no es muy grande, se enganchan unos á continuacion de otros, reuniendo el alambre de zinc de los elementos pares con el alambre de cobre de los elementos impares; pero cuando el número de estos es considerable, se unen paralelamente entre sí, como se ve en la figura 45, y siempre de manera que un alambre de zinc esté unido á un alambre de cobre.

Para cargar una cadena eléctrica no hay mas que sumergirla en vinagre, y una vez impregnada de líquido, puede conservar largo tiempo sus propiedades eléctricas; su sensibilidad es tal, que la menor traza de humedad estimula su

accion eléctrica, como puede observarse introduciendo un solo eslabon en el circúito de un reómetro, pues basta apretarlo entre dos dedos algo humedecidos, para que la aguja imantada del instrumento se desvie de su posicion. En cuanto á su energía, depende del número de elementos de que se compone. Una cadena de veinte y cinco eslabones, aun cuando esté seca, hace separar las hojas de oro del electróscopo de Bohnemberg, sin emplear condensador. Si es de treinta ó cuarenta elementos, descompone inmediatamente el agua pura en cantidad proporcional al grueso de los eslabones; cuando llega á ciento cincuenta ó ciento ochenta, produce chispas eléctricas, y con doscientos elementos de dimensiones algo mayores, inflama la pólvora á distancia. Ciento veinte ó ciento treinta elementos de tamaño ordinario, producen una violenta contraccion de los músculos en el momento en que se interrumpe el circúito, y cuando este permanece constantemente cerrado sin intermision, el efecto calorífico es bastante fuerte para cauterizar la piel.

A imitacion de estas cadenas voltáicas, se han construido otras muchas, fundadas en el mismo principio y que apenas difieren en la forma ó en la disposicion; pero segun parece, las de Pulvermacher son las mejores, á pesar de haber sido las primeras.

Pila de Martins Roberts. — Esta pila se compone de 50 láminas de estaño de 15 centímetros de altura por 10 de ancho, colocadas cada una entre dos hojas de platino de las mismas dimensiones. Las láminas de estaño con su cubierta de platino, se introducen en vasos de porcelana de 60 centímetros de profundidad, llenos de ácido nítrico diluido. La profundidad de estos vasos, que debe parecer enorme, la cree necesaria el autor para recoger el resíduo, que debe cubrir los gastos de la pila. En efecto, bajo la influencia de la corriente, el estaño forma un óxido de estaño hidratado, que va cayendo en el fondo de los vasos, y se combina con cierta can-

tidad de sosa que hay en ellos, produciendo un stannato de sosa, sal muy usada como mordiente para teñir las telas.

La intensidad de una de estas pilas de 50 elementos es muy considerable y ha servido con éxito para producir la luz eléctrica. Ensayada para la descomposicion del agua, ha dado 9 pulgadas cúbicas por minuto de una mezcla de oxígeno y de hidrógeno; su accion es sensiblemente constante durante cinco ó seis horas, y bajo este aspecto, así como en cuanto á la intensidad, se la puede comparar á una pila de Grove del mismo número de elementos y de igual tamaño.

M. Martins Roberts ha ideado otras pilas en que el carbon y el estaño son los elementos del par; es por consiguiente menos cara que la anterior, por la sustitucion del carbon al platino; se introducen los elementos en ácido nítrico y produce instantáneamente una gran cantidad de electricidad.

Pila de Lavalette y Dulaurier. La disposicion de los elementos de esta pila es análoga á la de las pilas de hélice de Wollaston; pero en vez de agua acidulada como líquido excitador, se emplea una disolucion de cloruro de zinc, producto de una accion química en que hay su correspondiente desarrollo de electricidad, que se aprovecha tambien. El cloruro de zinc puede obtenerse de la reaccion del agua acidulada con ácido cloro-hídrico sobre el zinc, en una pila en que este líquido se sustituye al agua acidulada con ácido sulfúrico, como se emplea comunmente. Haciendo entrar este cloruro de zinc, como líquido excitador, en una pila compuesta de un elemento de zinc y de cobre dispuesto en hélice, formará un oxicloruro de zinc, susceptible de emplearse en las artes como blanco de zinc en vez del albayalde.

El desprendimiento eléctrico de esta pila puede activarse considerablemente calentando el líquido.

M. Sorel y otros que trabajan en la galvano-plástica han dado á las pilas disposiciones diferentes que no nos detendrémos á examinar, porque además de que son muy variadas, segun el capricho del operador y las circunstancias del

objeto que se somete á la operacion, no alteran en nada las partes esenciales de esta clase de aparatos.

Todas las pilas que acabamos de describir son de un solo líquido, y en todas se desarrolla la electricidad por las reacciones químicas, segun unos, por el contacto auxiliado con la descomposicion del agua, segun otros. Como hemos dicho ya, es indiferente para dar la teoría de lo que pasa en la pila, partir de uno ú otro supuesto, porque la explicacion del fenómeno es idéntica. Los dos metales que componen la pila se encuentran electrizados negativamente por la comunicacion mas ó menos conductriz que tienen entre sí fuera del líquido; el hidrógeno que se electriza positivamente, viene solo al elemento no oxidado, ya sea cobre, platino ó hierro, porque este elemento se halla cargado de electricidad negativa que ha recibido del zinc, y puede así, descomponiendo el agua en sentido inverso, es decir, tomando el hidrógeno, completar la cadena de las descomposiciones sucesivas entre todas las moléculas líquidas que separan los dos metales, y que empezó en el zinc por la absorcion del oxígeno.

Tanto la tension eléctrica de todas estas pilas como la cantidad de electricidad desarrollada en una superficie dada, es muy variable, por los estados diferentes en que se encuentra el zinc, por la conductibilidad propia del líquido y por el diferente estado tambien en que se encuentran las superficies sobre las cuales se desprende ó se combina el hidrógeno.

Las pilas de dos líquidos, que vamos á describir, aunque no han hecho abandonar enteramente las de un líquido, son preferidas, porque el desprendimiento eléctrico es mas constante y se verifica de una manera doble, reuniendo la energía á la regularidad.

Pilas de dos líquidos.

Ya hemos indicado en este mismo capítulo (pág. 125) que desde el orígen del descubrimiento de la pila, Volta habia tenido la idea de hacerlas de dos líquidos, y que mas tarde

Davy construyó algunas, aunque sin obtener resultados satisfactorios, de suerte que no se hizo uso de ellas, y hasta el año de 1836 se emplearon casi exclusivamente las de Wollaston ó sus modificaciones. En dicha época, Daniell, creyendo que la irregularidad de las pilas conocidas entonces provenia de la precipitacion del zinc sobre el cobre, la cual no podia verificarse sino á expensas del desprendimiento eléctrico, trató de impedir esta precipitacion perjudicial con otra útil, es decir, que coadyuvara á la accion eléctrica, ó lo que es lo mismo, que el metal precipitado sobre el cobre fuera electro-positivo. Despues de muchos ensayos, encontró que la disolucion de sulfato de cobre podia realizar el efecto deseado; pero que para eso era menester que la disolucion estuviese separada del agua acidulada en que se introduce el zinc. Dividió, pues, la cuba en que estaba sumergido el elemento voltáico en dos compartimentos por medio de un diafragma poroso, colocó en uno el metal electro-negativo y su líquido acidulado, y en el otro el metal electro-positivo con la disolucion de sulfató de cobre, convirtiendo así la pila de un líquido de Wollaston en la de dos líquidos que lleva su nombre, y que pasamos á describir, alterando un poco el órden cronológico; porque ya antes que él, y por una série de deducciones muy diferentes, Becquerel habia conseguido formar pilas de dos líquidos, que describirémos despues, una de las cuales tiene gran semejanza con la de Daniell; sin embargo, la poca energía que tenian y lo incómodo de su disposicion hizo que no se emplearan en ninguna clase de experimentos desde los años de 1826 y 1829, en que su autor hizo mencion de ello en la Academia de Ciencias de Paris.

Queremos empezar describiendo la pila de Daniell, porque es, por decirlo así, el tipo de las pilas de dos líquidos, en que se emplea una disolucion salina, como las de Grove y Bunsen lo son de las de dos ácidos; vale mas, pues, hacer sobre ellas las consideraciones generales á todas las pilas de su especie. Además de eso, si bien Becquerel tiene la prio-

ridad sobre Daniell, es menester confesar que á este es al que se debe la generalizacion de la idea, que indudablemente tuvo por su parte, sin conocimiento de la de Becquerel, porque uno y otro trabajaron con distinto fin.

Pila de Daniell. El elemento de esta pila se ha representado bajo tres formas, en las figuras 46, 47 y 48.

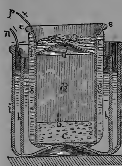


Fig. 46.

El de la figura 46 se compone de un cilindro hueco *a*, de cobre rojo muy delgado, lastrado con arena *b*, y cerrado por todas partes; el fondo ó la base inferior *c* es plana, y la superior *d*, cónica; sobre la base de este cono se eleva un reborde *e*, taladrado con varios agujeros *f*. Este cilindro entra en una vejiga *g*, que se ata al rededor del reborde *e*; por cima de los agujeros *f* se echa sobre el cono *d* una disolucion saturada de sulfato de cobre, que penetra por los agujeros *f*, y llena todo el espacio comprendido entre la vejiga y el cilindro; se ponen en seguida sobre el cono fragmentos de sulfato de cobre, que se renuevan á medida que se van disolviendo en el líquido, que ha de bañarlos siempre un poco; un tubo hendido de zinc *h*, ó sea una plancha abarquillada en forma de cilindro, cuyo diámetro puede por consiguiente aumentarse ó disminuirse, penetra en una disolucion de sulfato de zinc ó de cloruro de sodio, contenida en un vaso *i* de vidrio ó de loza. Se mete el cilindro de cobre con la vejiga en el tubo de zinc, y las dos tiras de cobre *p* y *n*, soldadas, una al zinc y otra al cobre, constituyen los dos polos del elemento. Tan luego como se establece la comunicacion entre ambos, se obtiene una corriente de una intensidad constante, que dura dias y meses enteros.

Mientras está en accion la pila, es decir, mientras comunican los dos polos y se halla establecida la corriente, el cilindro de cobre se cubre de una capa de cobre nativo revivifica-

do, que por lo general es pulverulento y sin adherencia, y la disolucion de sulfato contenida en la vejiga se empobreceria rápidamente, si no se añadiesen de vez en cuando sobre el cono fragmentos ó cristales de dicha sustancia, que se disuelven y la mantienen siempre en estado de saturacion. El zinc, por otra parte, se gasta, y la proporcion de sulfato de zinc aumenta en la disolucion contenida en el vaso exterior de vidrio.

Los fenómenos químicos que pasan aquí pueden interpretarse de varias maneras. Las reacciones no se han analizado con la exactitud suficiente para establecer una teoría absoluta; pero es de presumir que el zinc tiende á oxidarse por la descomposicion del agua que está en contacto con él, y se constituye así en un estado electro-negativo; por medio de los conductores exteriores comunica este estado al cilindro de cobre, que se halla entonces apto para atraer el hidrógeno y absorber su electricidad positiva. El hidrógeno naciente, en vez de desprenderse como en otras pilas, reduce el óxido de cobre del sulfato, el metal se deposita, y el ácido sulfúrico que queda en libertad no tarda en apoderarse del óxido de zinc para formarse el sulfato. Pouillet califica de incompleta esta explicacion, porque no demuestra cómo el ácido sulfúrico libre llega al zinc para disolver el óxido á medida que se forma, y desecha la opinion de algunos físicos, que suponen se verifica una doble descomposicion del agua y del sulfato de cobre, trasportándose el ácido sulfúrico al mismo tiempo que el oxígeno. Sin pretender dar por resuelta la duda de Pouillet, creemos deber consignar aquí nuestra opinion con respecto á este punto; opinion fundada en las teorías mas admitidas y en nuestras propias observaciones. La teoría de Grothus, contra la cual no parece posible que se pueda alegar nada, destierra toda idea de trasporte material de las moléculas de oxígeno, que no aparecen, que no deben aparecer sino al extremo inmediato al cobre de la série de moléculas polarizadas del conductor líquido; este permite in-

dudablemente la comunicacion del ácido sulfúrico por los poros del diafragma, y esto se deduce, no solo de la consideracion de que el ácido sulfúrico desaparece de un vaso para presentarse en el otro, sino del exámen material de esos mismos vasos, al través de los cuales, no solo ha debido pasar el ácido sulfúrico, sino que pasa algunas veces el cobre mismo en forma dendrítica, explicando así patentemente la causa de este fenómeno en la naturaleza. Quede pues consignado que para nosotros es evidente el trasporte del ácido sulfúrico al través de la membrana ó diafragma poroso, así como no admitimos el del oxígeno, que nace, por decirlo así, en contacto con el zinc mismo y solo allí.

Fig. 47.

El elemento representado en la figura 47 no difiere del que acaba de explicarse en cuanto á los fenómenos químicos y eléctricos, sino en cuanto á la disposicion de las partes que lo constituyen. La vejiga está reemplazada por un vaso poroso de barro ó de porcelana sin barnizar *v v*, que se llena de agua acidulada con ácido sulfúrico, y se coloca en el centro de otro vaso *v′ v′* de vidrio ó de loza, lleno con una disolucion de sulfato de cobre. En el agua acidulada se introduce un cilindro *z* de zinc amalgamado, al cual se añade un alambre de cobre, que es el polo negativo, y en el sulfato de cobre, rodeando el vaso *v v*, se introduce una plancha de este último metal, enrollada en forma de cilindro con un alambre de lo mismo, que forma el polo positivo.

Fig. 48.

En la figura 48 está representado otro elemento, usado particularmente en Alemania, y que no difiere del que precede sino por la celdilla *e*, dispuesta para recibir los fragmentos de sulfato de cobre.

Además de estas, ha sufrido la pila de Daniell una multitud de modificaciones mas ó menos importantes, la mayor parte de ellas relativas al diafragma poroso. Despues de ensayar con



pieles, tela, madera, yeso y tierras cocidas, se ha adoptado la porcelana sin barnizar.

Una de las modificaciones mas modernas, que simplifica mucho la construccion de la pila, es la de suprimir el vaso exterior de vidrio ó de loza, y convertir en vasija la plancha de cobre que se introducia en el sulfato de este metal. Dicha modificacion se funda en que el cobre no es nunca atacado y en que la capa de metal revivificado que se deposita en las paredes del vaso de cobre no es adherente, y puede separarse con facilidad; de suerte que hay economía en la construccion del aparato, tanto porque se suprime una pieza, como porque esta era precisamente la mas frágil.

M. Buff ha introducido una modificacion en la pila de Daniell, que le da una constancia notable, segun De La-Rive. Consiste en renovar incesantemente el sulfato de cobre, y en hacer al mismo tiempo que el zinc amalgamado se vaya hundiendo en el líquido, á medida que se va gastando.

Otra modificacion mas importante aun es la que ha introducido Breguet en todas las pilas que usa para las líneas telegráficas puestas á su cuidado; modificacion que se ha generalizado hasta el punto de que apenas se ve ya otra clase de pilas de Daniell. Consiste en emplear el agua pura en lugar de las disoluciones en que se introducia el zinc.

La figura 49 representa la pila modificada; *P* es el vaso poroso con la disolucion de sulfato de cobre, y *V* el vaso exterior, de vidrio ó de loza, que se llena de agua. En esta pila se coloca el cilindro de zinc *z* rodeando el vaso poroso, y en la disolucion de sulfato cúprico se introduce una rejilla *D*, tambien de cobre ó de guttapercha, sujeta á un alambre del mismo metal, sobre el cual se procura tener siempre unas 15 ó 20 gramas de cristales de sulfato, que por supuesto han de tocar al líquido.

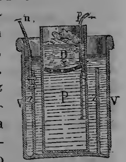


Fig. 49.

Una pila de estas se conserva hasta seis meses y un año sin tocarla mas que para añadir pedazos de sulfato de cobre; pero en las estaciones telegráficas se tiene la prudencia de renovarla cada tres meses. Una de las inmensas ventajas de esta pila, y de todas las modificaciones de la de Daniell, es la de no producir emanaciones ácidas ó nauseabundas.

En Alemania los elementos de Daniell que se emplean para los telégrafos son tan pequeños, que caben veinte en una caja de un pié cuadrado, como los del telégrafo portátil de Breguet.

Aunque no parece necesario, recordarémos que la pila de Daniell, como todas las demás, se forma reuniendo varios elementos, ya sea juntando los polos del mismo nombre, para obtener cantidades de electricidad mas considerables con la misma intensidad, ya uniendo los polos de nombre contrario, para obtener mayores tensiones con la misma intensidad.

Pilas de Becquerel. Estos aparatos fueron imaginados por el célebre é infatigable físico, antes que Daniell y que Grove propusieran los suyos, puesto que el primero, que describirémos mas adelante, lo fué en 1826, y en 1829 presentó á la Academia de Ciencias de Paris la descripcion del segundo. Este, ó sea la pila de sulfato de cobre, solo difiere de la de Daniell en la forma y en la disposicion de los vasos.

Cada elemento se compone de un tubo en *U*, en cuyo fondo se coloca un poco de arcilla humedecida; una de las ramas del tubo se llena de sulfato ó de nitrato de cobre, y la otra de una disolucion salina neutra; en la primera se introduce una lámina de cobre, y en la segunda otra lámina de metal oxidable, constituyendo ambos los dos polos de la pila.

Pila de Parelle. M. Parelle ha imaginado en 1852 una disposicion que permite funcionar durante mucho tiempo las pilas de Daniell (hasta seis meses), sin que sea preciso renovar á menudo la carga de líquido, que disminuye notablemente, sobre todo cuando se emplean en la relojería eléctri-

ca. Su sistema consiste en poner sobre los vasos porosos en que está la disolucion de sulfato de cobre, un matraz ó frasco de vidrio lleno de cristales de esta sustancia, impregnados de agua. El cuello del matraz entra en el vaso poroso, y como la disolucion de la sal de cobre es mas pesada que el agua, satura siempre la disolucion del vaso á medida que se va debilitando.

Esta disposicion parece que debe ser equivalente al empleo de un gran vaso poroso, en cuyo centro hubiera una rejilla con una gran cantidad de cristales de sulfato de cobre; sin embargo, no es enteramente así en los efectos, porque la corriente se debilita de una manera notable, segun lo demuestra el siguiente ejemplo, citado por Du Moncel. Suponiendo que dos elementos de Daniell montados segun el método ordinario, tengan exactamente la tension necesaria para hacer marchar un reloj eléctrico, colocando sobre sus vasos porosos los matraces llenos de sulfato de cobre, la fuerza eléctrica en la pila se disminuye hasta el punto de necesitar un tercer elemento para ejercer el mismo efecto electro-mecánico. Du Moncel cree que este fenómeno es de la misma naturaleza que el que disminuye la energía de las pilas de Bunsen, cuando los vasos porosos que contienen ácido nítrico se cierran herméticamente. Nosotros lo atribuimos simplemente á que sin aumentar la superficie metálica que trasmite la corriente al circúito, se aumenta la cantidad de materia, cuya resistencia tiene que vencer la electricidad para pasar de la pila á los electrodos, si como es posible, se verifica una especie de radiacion, ó se establecen corrientes circulares al través del líquido del matraz.

M. Verité y M. Mouilleron han adoptado por su parte, ignorando sin duda la prioridad de M. Parelle, disposiciones muy semejantes en las pilas que han presentado en la exposicion de Paris de 1855. Las del último, sin embargo, difieren en que el depósito de sulfato de cobre no está directamente sobre los vasos porosos, sino sobre un soporte se-

parado, y la comunicacion se establece por medio de un tubo con llave; convendria averiguar si se disminuyen con esta disposicion los inconvenientes de la de Parelle.

Pila de Gerard. Un constructor de Lieja, M. Gerard, ha presentado en la exposicion económica de Bruselas, en 1856, una pila de Daniell, en que el cilindro de zinc está reemplazado por un alambre en espiral del mismo metal, y la hoja de cobre por otra espiral, tambien de cobre. El inventor parece haberse propuesto, y dice que lo ha conseguido, suprimir las chispas de los interruptores de la corriente; pero Du Moncel atribuye este resultado á la debilidad de la pila, porque la superficie del zinc, dice, es así menor que la de los cilindros que se usan comunmente. Esto puede muy bien suceder en las pilas de Gerard que hemos visto funcionar, porque los pasos de la hélice se hallaban bastante distantes; pero es indudable que aproximándolos casi hasta el contacto, la superficie expuesta á la accion del líquido será mucho mayor que en las láminas ordinarias, y la cantidad de electricidad desarrollada puede ser mas grande; solo encontramos el inconveniente del precio, que debe ser bastante mayor en el sistema de Gerard.

Pila de los Sres. Breton, hermanos. Esta pila portátil y de efecto constante, se presta por su forma á una multitud de aplicaciones importantes, y sus autores la han destinado particularmente á la medicina; pero la creemos tambien susceptible de emplearse con ventaja en los aparatos eléctricos que se adopten en los trenes de los caminos de hierro, pues como dice Du Moncel, tiene una fuerza de imantacion considerable, y puede sustituir á la pila de Daniell. Se compone uno de los elementos del par de esta pila, de una mezcla de cobre rojo en polvo y aserrin, que no tiene mas objeto que el de dividir las partes metálicas, y se mezcla y revuelve todo en una disolucion saturada de cloruro de calcio, que hace que la masa esté siempre húmeda. El otro elemento del par es una mezcla de aserrin y polvo de zinc. Ambas prepara-

ciones, puestas en un vaso dividido en dos partes por un diafragma poroso, constituyen una pila de efecto constante, cuya intensidad es siempre igual, en razon á su estado permanente de humedad, y al número indefinido de sus elementos.

Pilas de ácidos.

Pilas de Grove. Algun tiempo despues que Daniell, en 1839, el célebre Grove, que empezaba entonces su carrera científica, trató de perfeccionar tambien la pila de Wollaston, utilizando todo el poder de oxidacion de que es susceptible el zinc, al mismo tiempo que impedia la precipitacion del metal negativo sobre el positivo.

El primer elemento ideado por Grove, que es el mas pequeño que se conoce, está representado en la figura 50. El diafragma poroso es una pipa de fumar, y el pedazo de tubo que queda adherente se tapa con arcilla. Este diafragma se fija en el centro de un vaso comun, y se llena de ácido nítrico concentrado, mientras que el vaso contiene ácido cloro-hídrico ó ácido sulfúrico diluido, en el cual se sumerge una planchita de zinc amalgamado; el polo positivo que se introduce en el ácido nítrico es una hoja de platino.

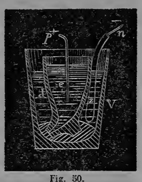


Fig. 50.

Grove ha dado á este elemento otra disposicion mas perfecta, sustituyendo, con gran ventaja, un vaso poroso de barro semicocido á los diafragmas de arcilla y á las membranas que se habian usado hasta entonces. El diafragma poroso *d* (figura 51) tiene la forma de un paralelepípedo; contiene ácido nítrico concentrado y la hoja de platino *e;* el

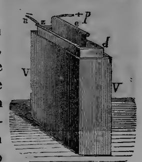


Fig. 51.

vaso exterior *v v* contiene el ácido sulfúrico diluido y la plancha de zinc amalgamada *e*, que se dobla en dos partes bajo el diafragma, y permanece casi pegada á sus costados.

En vez de ácido sulfúrico puede emplearse ácido cloro-hídrico diluido en dos volúmenes de agua, y entonces en lugar del sulfato, se forma clorhidrato de zinc; en ambos casos el ácido nítrico pierde su fuerza poco á poco, el hidrógeno se desprende sobre el platino, y la corriente disminuye de intensidad. La accion de esta pila, sin embargo, es bastante regular, enérgica y constante, pero el platino es caro, y despues de algunas semanas de servicio, se vuelve quebradizo y se rompe al menor esfuerzo. Tiene tambien el inconveniente de desprender muchos vapores de gas nitroso, que añadido al de su gran costo, impide que se utilice tan á menudo como la de Bunsen, que no es en realidad sino una modificacion de la de Grove; y aun parece que el mismo Grove trató de reemplazar el platino con carbon de leña ó de retortas, para obtener una pila menos cara; pero creyendo que en las aplicaciones científicas no se apreciarian verdaderamente sino los electrodos de platino, no habló nunca en sus Memorias de los de carbon; lo que sí hay de positivo es, que seis meses despues de su descubrimiento, se vendian en Lóndres las pilas de ácidos, con carbon en vez de platino.

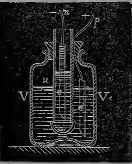


Fig. 52.

Pila de ácidos de Becquerel. Ya hemos dicho que antes que Daniell inventara la pila de sulfato de cobre que hoy se usa, Becquerel habia presentado la descripcion de la suya á la Academia de Ciencias de Paris; tambien con respecto á Grove se halla en el mismo caso el físico francés, pues en 1826 dió la descripcion de la pila que vamos á presentar (figura 52).

Se compone de un tubo ancho de vidrio *u*, cuya extremidad inferior se halla cerrada por un tapon, sobre el cual se echa

una capita de arcilla, humedecida con una disolucion de cloruro de sodio (sal comun); se llena despues el tubo con una disolucion concentrada de potasa, y se introduce en un vaso lleno de ácido nítrico concentrado. En la potasa se sumerge una lámina de platino, otra en el ácido nítrico, y se ponen ambas en comunicacion con alambres del mismo metal, que forman los electrodos. Inmediatamente despues de establecer el contacto entre ambos, el oxígeno se desprende con abundancia sobre la lámina de la disolucion de potasa, mientras que en la lámina del ácido nítrico se ve que este ácido se desoxigena y pasa al estado de ácido hiponítrico, sin desprendimiento de gas. Becquerel dice, y debe ser así en efecto, que la lámina del álcali toma la electricidad negativa, y la del ácido la positiva, y la constancia del desprendimiento eléctrico está basado, segun Du Moncel, en la despolarizacion continua de las láminas, por la accion electro-química que resulta del efecto eléctrico producido en el contacto del ácido y del álcali; por el contrario, en la pila de Grove, tratando de evitar la precipitacion del metal negativo sobre el elemento positivo, se ha aumentado el poder de oxidacion del metal electro-negativo con una doble reaccion química.

Difieren pues esencialmente una y otra pila, aunque se ha querido asimilarlas por la semejanza que á primera vista tienen.

Becquerel ha reunido varios elementos como el que hemos descrito, para formar pilas, y asegura que se obtiene con ellas una gran constancia y una fuerza electro-motriz notable; sin embargo, está muy léjos de producir los efectos enérgicos de la de Grove, que puede considerarse, á pesar de la de Becquerel, como la primera de las de dos líquidos que se ha construido con ácidos. Si Becquerel hubiese sustituido una lámina de zinc á la de platino, habria llegado á obtener el mismo resultado que Grove, y esta clase de pilas se hubiera utilizado trece años antes.

Pila de Bunsen. La pila que se conoce con este nombre es

exactamente la de Grove que hemos descrito ; pero Bunsen, profesor de química de la universidad de Heidelberg, ignorando sin duda que Grove la hubiera hecho, propuso en 1843 como mejora económica, sustituir el platino con el carbon, y su pila, que es sin contradiccion la mas enérgica entre las de efecto constante y la mas usada en el dia, ha llegado á adquirir con su nombre una celebridad tal, que eclipsa el de su verdadero autor.

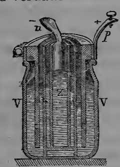


Fig. 53.

El elemento de esta pila está representado en la figura 53. Los dos líquidos son el ácido nítrico del comercio y el ácido sulfúrico diluido en diez ó doce partes de agua ; los dos cuerpos que reciben la electricidad son el zinc y el carbon. Los líquidos están separados por un vaso poroso de barro cocido ó de porcelana sin barnizar *u*, que se llena con el ácido sulfúrico diluido, y en el cual se sumerge un cilindro *z* de zinc amalgamado; el diafragma ó vaso poroso se coloca en otro de vidrio *v v*, que contiene ácido nítrico ; en este vaso, y al rededor del poroso, se coloca el cilindro de carbon *c c*, que debe ser grueso, resistente y está perforado por varios agujeros, para que circule libremente el ácido en que está sumergido.

El carbon para estas pilas se fabrica prensando en un molde de hierro una mezcla de coke y de ulla grasa en proporciones convenientes, y sometiéndola á la accion del fuego; despues se sumerge el cilindro de carbon en un jarabe hecho con azúcar, para someterlo de nuevo á un fuego bastante vivo. Estos cilindros son muy buenos conductores y completamente inatacables por el ácido nítrico. En la parte superior, y fuera del líquido, tienen un anillo de cobre, al cual se adapta la tira metálica que establece las comunicaciones eléctricas; al cilindro de zinc se le suelda una tira de metal semejante, que sirve para reunir unos elementos á otros, y forman

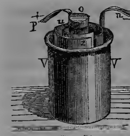
ambas. el polo positivo en el carbon y el negativo en el zinc.

Cuando el zinc está bien amalgamado, no experimenta accion ninguna mientras no se establece la comunicacion exterior con el carbon; pero tan luego como esta se verifica, el zinc se oxida, se forma sulfato de zinc, el ácido nítrico se desoxigena en parte, sin que se manifieste desprendimiento sensible de gas, ni sobre el carbon en el ácido nítrico, ni sobre el zinc en el ácido sulfúrico.

La teoría es aquí cómo en la pila de Smee: con la descomposicion del agua, el zinc atrae el oxígeno para combinarse con él, y el hidrógeno se dirige al carbon; pero como está en estado naciente, obra sobre el ácido nítrico para arrebatarle una parte de su oxígeno, y se trasforma en ácido hiponítrico, que se disuelve en el baño; no parece tampoco imposible que bajo ciertas condiciones el hidrógeno se combine con el carbon.

Los elementos de Bunsen conservan una fuerza sensiblemente constante, que dura bastante tiempo, y la pila que se forma con ellos, segun la opinion de todos los físicos, merece la preferencia sobre las demás cuando se quieren obtener con energía efectos regulares y constantes, cuya duracion se prolonga por espacio de algunas horas. No hay que tener un cuidado muy asíduo en mantener saturados los líquidos ni en limpiar los depósitos. Cuando acaba uno de servirse de la pila, basta echar los diafragmas en un cubo de agua y los cilindros de zinc en otro, y la reamalgamacion de estos últimos es cosa de un momento, como vimos al hablar de la pila de Smee. Es de notar tambien que no se desprenden vapores nitrosos de manera que puedan incomodar.

Pila de Archereau. La pila de Bunsen ha sufrido, como la de Daniell, varias modificaciones, de las cuales la mas importante se debe á Lemolt y Archereau, que sin sospecharlo sin duda, resucitaron en 1849 las primeras pilas de Grove, tales como se habian vendido en Lóndres diez años antes, dándoles la disposicion que representa la figura 54, segun la


Fig. 54.

cual el ácido nítrico está contenido en el vaso poroso, y en él se introduce, no un cilindro de carbon preparado, sino un simple prisma cudrangular ó cilíndrico *c* de carbon de retortas; es decir, del carbon que se deposita como una costra en la parte interior de las retortas que han servido para la fabricacion del gas del alumbrado, y que se corta en paralelepípedos con una sierra. El vaso exterior contiene el ácido sulfúrico diluido y el cilindro de zinc *z* hendido longitudinalmente; una tira de cobre soldada en el borde superior del cilindro de zinc, doblada en ángulo recto, viene á apoyar contra el prisma de carbon de otro elemento por medio de un tornillo.

La nueva pila, con solo esta modificacion, produce una corriente de una intensidad casi doble; es mas constante, porque el vaso en que se deposita el sulfato de zinc insoluble es mas grande; y mas económica, porque el vaso que contiene el ácido mas caro, el nítrico, es menor; además es mucho mas fácil y barato cortar prismas de carbon y cilindros de hoja de zinc, que fundir expresamente prismas de zinc y fabricar cilindros huecos de carbon preparado.

El único inconveniente que presenta es que desprende mayor cantidad de gas nitroso que la primitiva pila de Bunsen; sin embargo, afirma M. Archereau, y nosotros hemos tenido ocasion de verificarlo, que estas emanaciones se evitan en parte sirviéndose de vasos porosos muy profundos, llenos solo hasta los dos tercios de su altura.

M. Archereau ha introducido tambien otra modificacion, que es la de reemplazar el zinc por cobre, de suerte que se forma un resíduo de sulfato de cobre; y como es mas soluble que el de zinc, debe ser algo mas constante la accion de la pila, aunque mucho menos enérgica. En cuanto á la cuestion económica, la experiencia ha demostrado que el gasto no dis-

minuye porque se obtenga un producto utilizable, pues los desembolsos que ocasiona son tambien mucho mayores.

Modificaciones de Deleuil, Du Moncel y otros. Con objeto de disminuir la oxidacion de las tiras ó láminas polares con que se unen el carbon y el zinc á los electrodos, y disminuir, por consiguiente, la resistencia que se opone á la trasmision del flúido, se han propuesto modificaciones sin número para la ligadura con que lo hacia Archereau. La de M. Deleuil consiste en practicar un agujero en la base superior del prisma de carbon preparado, al cual se adapta un tapon metálico soldado á la lámina metálica que parte del zinc de otro elemento. Otros han propuesto hacer una hendidura en el carbon, en la cual entra forzada la tira de cobre soldada al zinc; otros una pinza de cobre con un tornillo que se adapta al carbon, y sujeta las susodichas tiras; en fin, Du Moncel para no ser menos que los demás, como dice él mismo, practica en la parte superior del carbon un agujero de 4 centímetros de profundidad, en el cual introduce algunas gotas de mercurio, y lo tapa con un tapon metálico, como en el sistema de Deleuil.

Manipulacion de las pilas de Bunsen. La carga de las pilas de Bunsen es larga y enojosa, y por mas que algunos, como Dubosc, para sus aparatos de luz eléctrica, pretenda que nada hay mejor que preparar por el método ordinario, elemento por elemento, hasta ciento ó doscientos que suelen necesitarse, seria muy conveniente tener un medio de manipulacion fácil y pronta.

Este problema se ha resuelto de dos maneras, ya por un procedimiento mecánico, que permite cargar ó descargar en pocos instantes los líquidos de las pilas siempre montadas, ya por otro con el cual la pila se mantenga siempre en estado de funcionar instantáneamente, sin que los elementos productores de la electricidad se gasten cuando la pila no trabaja. El primero de estos sistemas, imaginado por Archereau, conviene para baterías muy fuertes, y el segundo, debido á Du

Moncel, no puede aplicarse sino á baterías de ocho ó diez elementos cuando mas.

Pila permanente de Archereau. El sistema de Archereau consiste en emplear dos bombas que inyectan en los compartimentos de las pilas los líquidos excitadores, y esto por medio de tubos verticales de gutta-percha, que penetran hasta el fondo de los vasos, dos en cada elemento; todos los tubos que salen de un vaso poroso tienen el otro extremo soldado á un tubo maestro horizontal, que comunica con el depósito de ácido nítrico, y los que salen de los vasos no porosos van á parar á un segundo tubo dispuesto como el primero, de manera que un par de golpes de bomba pueda llenarlos simultáneamente de ácido sulfúrico diluido.

No nos detendrémos á describir todos los detalles de este aparato, que puede verse en la obra de Du Moncel; baste decir aquí que el autor ha tomado todas las precauciones necesarias para que los líquidos de los diferentes elementos no comuniquen entre sí por medio del tubo maestro, y que una pila de cien elementos puede cargarse ó descargarse en cinco minutos.

Es inútil decir que es aplicable á toda clase de pilas, ya sean de dos líquidos, ya de uno, en cuyo último caso el problema es mas sencillo.

Otro sistema, propuesto por Archereau para el caso en que no se quiera hacer uso de bombas, consiste en colocar la batería montada, en una gran caja revestida de un betun impermeable é inatacable por los ácidos. Esta caja se coloca debajo de otras dos que contienen una gran cantidad de los líquidos excitadores. Los vasos exteriores de los elementos se hallan todos taladrados en la parte inferior por un agujero, al través del cual pasa un tapon de goma elástica fuertemente sujeto por debajo, de modo que no se salga nunca del agujero, y por arriba á unos cordeles que se fijan á unos listones de madera. Con esta disposicion, y estando llena de agua acidulada la caja en que se ha colocado la batería, se compren-

de que basta tirar de los cordeles para que el tapon de goma, adelgazándose, permita que el líquido entre en los vasos y suba hasta el mismo nivel que en la caja, y como uno de los depósitos superiores permite renovar el líquido de esta, se hace subir hasta donde se quiere; idéntica operacion se hará para descargar dichos vasos; pero entonces, en vez de alimentar la caja con el líquido del depósito superior, se abrirá, por el contrario, una válvula ó llave que dé salida á todo el que contiene. Para cargar y descargar los vasos porosos no podia emplearse el mismo medio, y su autor se ha valido de otro, que consiste en un sistema de sifones que pone en comunicacion todos los vasos porosos entre sí; estos sifones se mantienen siempre cargados, con solo dejar en cada vaso un poco de ácido nítrico que cubra las bocas de los sifones y no permita la entrada del aire; en el punto de curvatura tienen una llave de materia no conductora de la electricidad, que cuando está cerrada, intercepta la comunicacion de los líquidos en las dos ramas del tubo.

Dispuesto de esta manera el aparato, basta abrir la llave del depósito de ácido nítrico, y las de cada sifon, para que el líquido que entre en el primer vaso se comunique á todos los demás; cerrando despues todas las llaves, queda, como hemos dicho, interrumpida la comunicacion eléctrica en todos los vasos. Para vaciarlos basta aplicar al último un sifon cargado, que vaya á parar á un depósito inferior, y abrir las llaves de todos los sifones; no hay que olvidar, sin embargo, que debe quedar en cada vaso bastante líquido para impedir la entrada del aire en los sifones, sin cuya precaucion habria luego que llenarlos á mano, antes de dar entrada al líquido, cuando se quisieran cargar otra vez.

M. Jaxton, autor de la máquina electro-magnética que se conoce con el nombre de *máquina de Clarke*, ha descrito en su privilegio un sistema análogo á este, pero no tan bueno, segun Du Moncel.

Pila permanente de Du Moncel. Este físico ha dispuesto la

pila de Bunsen de manera que pueda estar siempre cargada sin que se alteren por eso los elementos productores de la electricidad; pero su sistema no es aplicable sino á baterías pequeñas, de ocho elementos por ejemplo, como la que tiene montada en su gabinete de física, para hacer marchar cuando quiere los aparatos electro-magnéticos.

Su sistema consiste en añadir á las baterías ordinarias de Archereau tres partes accesorias : la primera, para el trasporte simultáneo de todos los vasos porosos con sus carbones; la segunda es una combinacion de recipientes ó depósitos de ácido nítrico, donde deben sumergirse todos los vasos porosos despues de sacarlos de la pila ; la tercera, en fin, es una especie de armadura para el trasporte de los cilindros de zinc.

No nos detendrémos tampoco en describir detalladamente este sistema, que puede verse en la obra ya citada de su autor; nos contentarémos con decir que la primera combinacion está reducida á una tabla de madera resinosa, enteramente cubierta de lacre ó de gutta-percha, y en la cual encajan perfectamente los vasos porosos por su parte superior, de manera que al levantar la tabla se sacan todos de los exteriores, en que se hallaban metidos; los carbones permanecen dentro de los vasos porosos, cubiertos por la tabla, á la cual se hallan fijos los tapones metálicos de que hemos hablado en la página 161, y que entran en el mercurio del agujero abierto en los carbones; cada uno de estos tapones comunica con el polo negativo del elemento correspondiente, por medio de alambres bastante largos para permitir el trasporte sin dificultad.

Para que el ácido contenido en los vasos porosos no trasude y se pierda mientras están separados de la pila, se sumergen en otros tantos recipientes ó vasos convenientemente dispuestos con ácido nítrico, de suerte que el de los vasos porosos, léjos de debilitarse, repara sus pérdidas por la endósmosis con el ácido mas concentrado de los recipientes. La tercera combinacion para trasportar los cilindros de zinc fuera del

agua acidulada de los vasos exteriores es semejante á la que se emplea para los vasos porosos, pero mas sencilla, pues basta un marco de madera, al cual están fijos los apéndices polares por medio de un tornillo, para poder renovarlos con facilidad cuando se gastan.

En resúmen, se ve que con dos movimientos se pone en marcha ó se pára la pila, pero no podria hacerse esto con un gran número de elementos, sin tener que aplicarle un mecanismo que tal vez fuera mas costoso é incómodo que montar la pila por el sistema ordinario; mientras pueda hacerse á mano, la operacion es indudablemente ventajosa, en un gabinete de física donde no falte espacio, pues cuando menos, necesita tres veces el de una pila ordinaria.

Pila permanente de Fabre de Lagrange. Este sistema consiste, como hemos dicho ya para las pilas de un solo líquido (pág. 141), en hacer caer gota á gota el líquido sobre los elementos que desarrollan la electricidad, para lo cual ha dado su autor á la pila la disposicion particular que conocemos, El vaso exterior está agujereado en el centro como un tiesto; en el fondo se fija con betun un diafragma de lona algo menos elevado que el vaso; dentro del diafragma se introduce una barra de carbon de retorta, rodeada de fragmentos de la misma sustancia, y al rededor del diafragma se coloca el cilindro de zinc amalgamado, sumergido en el agua acidulada, que cae gota á gota sobre el diafragma, y al mismo tiempo que baña el carbon sin inundarlo, alimenta de líquido la parte exterior; del líquido que hay en esta parte, solo atravesarán el diafragma las capas inferiores, de resultas de la presion á que están sometidas, lo cual no sucederá con las superiores ni con las del medio; y como precisamente son aquellas capas las que están cargadas de sulfato de zinc y necesitan eliminarse, habrá una corriente eléctrica constante hasta que desaparezca enteramente el zinc.

Cuando se quieran reunir varios elementos y emplear dos líquidos, estos llegan directamente á cada vaso por medio

de canales dispuestas en dos depósitos colocados sobre la pila. Los diafragmas son entonces de barro cocido, y segun parece, no solo se aprovecha ventajosamente el ácido nítrico debilitado, que ya no sirve para las pilas de Bunsen ordinarias, sino que recogidos los líquidos al salir de los vasos de la misma pila, pueden volverse á emplear.

Pila de Jedlick y Csapo, ó pila húngara. De cuantas mejoras se han hecho hace algunos años en la pila de Bunsen, ninguna ha producido resultados tan satisfactorios como la pila presentada por los Sres. Jedlick y Csapo, y premiada en la exposicion de Paris de 1855.

El elemento de Bunsen en este sistema recuerda por su disposicion al de Wollaston, dice con mucha propiedad Du Moncel. El carbon, preparado sobre poco mas ó menos como el de las primitivas pilas de Bunsen, está en forma de láminas delgadas y cuadradas, y se halla introducido, como lo representa la figura 55, por dos de sus lados en un marco aislador é inatacable por los ácidos. Para evitar la oxidacion

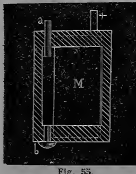


Fig. 55.

de la lámina polar positiva, que se encuentra adaptada á él, la parte superior del carbon se empapa de antemano en un baño de estearina, con lo cual se tapan los poros del carbon y se detiene la endósmosis del ácido; despues de cubierta así de estearina dicha parte superior del carbon, se apomaza y se sumerge en un baño de sulfato de cobre, á fin de que se cubra por la galvanizacion con un depósito metálico, sobre el cual se suelda con estaño la lámina polar.

El marco aislador en que se fija la plancha de carbon está hecho con una mezcla de peróxido de hierro, de azufre y de amianto, todo fundido, que se moldea con facilidad, se endurece extraordinariamente despues de fria, y no es atacable por ningun ácido.

En la parte alta y baja de este marco hay dos tubos *a* y *b*, el primero de vidrio, destinado á dar salida á los vapores nitrosos que se desprenden, y el otro *b*, terminado por una bola, y hecho de la misma sustancia que el marco, sirve para introducir el ácido nítrico cuando el elemento está montado.

El vaso poroso lo constituyen dos hojas de papel empapado en ácido nítrico concentrado, pegadas con *colodion* á los cuatro listones del marco. Gracias á su preparacion, que le ha dado las propiedades del algodon pólvora, este papel puede resistir á los ácidos, y como no presenta apenas espesor, no opone casi resistencia ninguna á la trasmision de la corriente eléctrica.

En esta caja de papel es donde se echa el ácido nítrico, y para completar el elemento basta colocarle en una artesa ó pila llena de agua acidulada, entre dos láminas de zinc del mismo tamaño (figura 56).

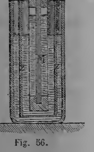


Fig. 56.

La forma de este elemento permite aproximarlos unos á otros, y por lo tanto aumentar considerablemente la intensidad de la corriente. Así es que un elemento de esta naturaleza equivale en igualdad de superficies á mas de dos elementos de Bunsen. Además, por su poco grueso pueden reunirse en mayor número en un espacio muy reducido, y dándoles la disposicion indicada en la figura 57, se cargan y se descargan instantáneamente.

La pila representada en la figura 57 se compone de nueve elementos, colocados en una misma caja, y separados unos de otros por pizarras. La caja tiene las paredes interiores revestidas de una capa de goma elástica, y su fondo con un betun compuesto de la misma materia que los marcos de los elementos.

Dicho fondo está moldeado de manera que presente en

medio de cada compartimento una concavidad en forma de taza, donde encaja exactamente el tapon semiesférico *b* del elemento positivo. Estas concavidades tienen un agujero que corresponde precisamente al del tapon *b*, pero que va á dar interiormente á un tubo *A B*, abierto en el interior del fondo de betun. Todas las concavidades están colocadas del mismo lado, y en el opuesto hay otros orificios dispuestos de la misma manera, que comunican con un segundo tubo, abierto tambien en el fondo de betun. Estos dos tubos corresponden por un lado de la pila á uno vertical *B D'*, ó *A D'*, en el cual se echan los líquidos excitadores por medio de un embudo *C*, y por el otro á una llave *A*, por la cual pueden salir dichos líquidos. Es inútil decir que la espita *A* y los tubos *D B*, *A D'* son del mismo betun que el fondo. Por último, los elementos comunican en la parte superior por medio de tubos *a* con un conducto *E G*, que da salida á las emanaciones nitrosas de la pila.



Fig. 57.

Las uniones metálicas de los elementos entre sí se hacen por medio de láminas fijas á los elementos polares, que entran en dos ranuras practicadas en la cubierta de la pila. Dichas ranuras, divididas en tantos espacios como elementos, están llenas de una amalgama de zinc; de manera que

por medio de las láminas metálicas dobladas se puede fácilmente disponer la pila, ya en tension, ya en cantidad.

Para cargar la pila basta echar por los tubos verticales *B D*, *A D'*, los ácidos, hasta que el nivel de los líquidos llegue á *D'*; se puede asegurar entonces que han llegado á la misma altura en los elementos, porque todos forman con los tubos vasos comunicantes.

Se ha objetado que la comunicacion de los elementos entre sí por los líquidos excitadores debia debilitar mucho la tension de las pilas dispuestas de esa manera; pero no sucede así, por la facilidad con que las corrientes penetran por los diafragmas, y por la pequeñez de los orificios de comunicacion. Por lo demás, la experiencia ha demostrado que no existe semejante inconveniente.

En la figura 57 no se ha indicado mas que uno de los tubos de carga; es el que conduce el ácido nítrico á las cajas positivas. El otro tubo se halla en el lado opuesto de la figura, y se ve en *D'* la extremidad del vertical que le corresponde. Este segundo tubo es el que distribuye el agua acidulada á los compartimentos separados por las pizarras.

Los autores de esta pila han sustituido con buen éxito en su aparato, el ácido nítrico con el nitrato de sosa. Es verdad que han notado una ligera diminucion de intensidad en la corriente que resulta; pero este inconveniente queda ámpliamente compensado por la mayor constancia del desarrollo eléctrico.

Otra modificacion, cuyas ventajas ha demostrado la experiencia, consiste en usar agua salada en vez de agua acidulada, para evitar la elevacion de temperatura considerable que se manifiesta en la pila cuando funciona con el último de estos líquidos. El desprendimiento eléctrico disminuye tambien un poco; pero asimismo se gana en la regularidad de la accion.

Segun parece, los Sres. Jedlick y Csapo han imaginado hace mucho tiempo esta pila, pero trabajan en mejorarla ha-

ce mas de diez años. Mucho les convendria aclarar esta cuestion, porque ya un profesor de física del Piamonte, el Signor Frascara, reclama la prioridad de los diafragmas de papel preparado con ácido nítrico, que llama *papel xiloidado.*

La disposicion de la pila de Frascara, privilegiada en 1854, es sin embargo diferente, porque emplea como líquidos excitadores un ácido y una base, el ácido sulfúrico ó el nítrico y el amoniaco; el carbon se sumerge en el álcali, y el ácido está contenido en un vaso de hierro fundido que hace de polo negativo.

Los Sres. Guillou y d'Artois han pedido tambien privilegio en 1853 por una disposicion semejante á la de la pila húngara, para cargar y descargar las pilas ordinarias de Bunsen.

Pila de Le Roux. Fundado en que el desarrollo de la electricidad se debe principalmente á la combinacion del hidrógeno que resulta de la descomposicion del agua, con el oxígeno que se desprende del líquido excitador contenido en el diafragma, M. Le Roux, empleado en el laboratorio de la Escuela Politécnica, pensó que el ácido nítrico, que hace tan costoso el empleo de las pilas de Bunsen, se podria sustituir con otro cuerpo capaz de unirse al hidrógeno, y sus experimentos le condujeron á valerse del cloro, que reune al parecer todas las circunstancias necesarias.

Para cargar su pila introduce en el vaso poroso de un elemento, y al rededor del carbon, una mezcla de peróxido de manganeso y de ácido cloro-hídrico diluido en igual cantidad de agua, de modo que no exhale vapores; la corriente obtenida, dice el autor, es de la misma intensidad, poco mas ó menos, que la que produciria el ácido nítrico ordinario.

Ensayada esta pila, dice *El Cosmos*, en los talleres galvano-plásticos de Christoffle y en la produccion de la luz eléctrica por Dubosc, los resultados han sido satisfactorios, por que la corriente es intensa y bastante constante; pero se desprenden muchos vapores de cloro.

Otra modificacion introducida en la pila de Bunsen por

M. Le Roux es la de mezclar ácido sulfúrico concentrado con el ácido nítrico que se echa en el diafragma poroso; la corriente es mucho mas intensa que cuando se llena solo de ácido nítrico. Este fenómeno se explica fácilmente, dice Du Moncel, porque la grande afinidad del ácido sulfúrico y del agua hace que cuando el ácido nítrico se va debilitando, el ácido sulfúrico lo deshidrata completamente y le vuelve toda su fuerza. Basta, pues, echar en las pilas de Bunsen ordinarias un poco de ácido sulfúrico en el diafragma para estimularlas cuando empiezan á debilitarse.

Pila de M. Guignet. Para evitar los inconvenientes que resultan de emplear el ácido nítrico en la pila de Bunsen, M. Guignet ha propuesto reemplazarlo con las sales de peróxido de hierro, que se reducen fácilmente por el hidrógeno, valiéndose como cuerpo oxidante de una mezcla de ácido sulfúrico y peróxido de manganeso. Segun M. Guignet, la corriente no difiere en intensidad de la que produce la pila de ácido nítrico, y presentaria su sistema la ventaja de disminuir en un 50 por 100 los gastos de alimentacion de la pila, evitándose tambien los vapores rutilantes, incómodos y hasta peligrosos para los operadores.

Los resultados obtenidos por M. Guignet han sido contradichos por M. Le Roux, el cual asegura que el efecto de ambas pilas no es comparable, y que seria menester elevar la temperatura hasta 70° ú 80°, para que la de Guignet pudiera reemplazar á la de Bunsen; M. Payerne sostiene, por el contrario, que la mezcla de ácido sulfúrico y de peróxido de manganeso, usada en vez del ácido nítrico y el carbon, produce excelentes resultados. Segun Du Moncel, M. Guignet se atribuye indebidamente este sistema, experimentado mucho antes en Cherbourg.

Pilas de Liais y Fleury, Pulvermacher y Duchesne. Tanto en las pilas de Bunsen como en las de Daniell, la trasmision de los efectos eléctricos se hace al través de los poros de los vasos, y como estos no son conductores, oponen una

resistencia bastante considerable al paso de la electricidad. Este inconveniente lo han hecho desaparecer los Sres. Liais y Fleury, ó mas bien M. Duchesne de Boulogne, que tiene la prioridad de la idea y de la ejecucion, suprimiendo el vaso poroso y poniendo el ácido nítrico en una cavidad practicada en el carbon mismo. Resulta de esto una accion infinitamente mas enérgica, porque el carbon es buen conductor de la electricidad.

En vez del carbon, Pulvermacher ha empleado el grafito para otras pilas.

Otra modificacion hecha por Liais y Fleury en la pila de Bunsen les ha permitido obtener con un solo elemento las ventajas de una pila de varios. El carbon, que ha de ser preparado, y no de retorta, para que tenga bastantes poros, presenta una cavidad mucho mayor que en la pila anteriormente descrita, la cual, además del ácido nítrico, puede contener unos en otros varios vasos porosos de diferentes diámetros, ó lo que es lo mismo, se restablece la primitiva forma de las pilas de Bunsen, y en vez de un vaso poroso, se ponen varios unos dentro de otros. En el mas grande, ó sea el inmediato al carbon, se echa ácido sulfúrico concentrado ; en el menor, que está en el centro de todos, se echa el ácido sulfúrico de 12°, dentro del cual se sumerge el zinc como de costumbre ; los demás vasos se llenan tambien de ácido sulfúrico, pero á diferentes grados y formando, por decirlo así, una escala descendente desde el mas concentrado hasta el mas diluido. La conductibilidad de esta pila, dice Du Moncel, es la misma que la de Bunsen ; pero su tension aumenta considerablemente, pues un elemento de ella equivale á varios de la antigua que tengan la misma superficie. En la primera edicion de su obra atribuia este acrecentamiento de tension á las reacciones de endósmosis que deben producirse.

Pila de Lavenarde. — Consiste este sistema en reemplazar el agua acidulada y el ácido nítrico de la pila de Bunsen con una disolucion de sal comun y de agua acidulada, de manera que

el zinc entre en la disolucion salina y el carbon en el líquido acidulado; las proporciones de las mezclas son: para la primera, 200 de agua y 40 de sal; para la segunda, 400 de agua y 8 de ácido; el inventor ha dado otra disposicion á la pila, sustituyendo el agua acidulada con una disolucion de carbonato de sosa ó de potasa.

Por último, en una tercera combinacion emplea el hipoclorito de cal en vez de la disolucion salina.

Pila de De La-Rive. Adoptando la forma del elemento de Grove, M. De La-Rive ha tenido la idea de sustituir al ácido nítrico un cuerpo sólido fácil de desoxigenar, y emplea el peróxido de plomo, rodeando con él la lámina de platino ó el carbon, y sumergiendo el vaso poroso que lo contiene en otro, donde se hallan el zinc y el agua acidulada. Este elemento de un solo líquido es tan enérgico como el de Bunsen, pero desgraciadamente el peróxido de plomo es muy caro.

Pila de Croissant. M. Croissant, boticario de Laval, ha introducido en la pila de Bunsen una modificacion que consiste en cubrir el carbon con una capa de óxido de tungsteno y calcinarlo despues. Sumergido el carbon, en este estado, en el ácido nítrico, la pila, dice su autor, adquiere una tension considerable, pero la reaccion que se produce no es fácil de explicar.

Pila de Laborde. Queriendo utilizar la reaccion eléctrica que se manifiesta en el momento en que se ponen en contacto el ácido sulfúrico y el agua, operacion que generalmente se hace antes de armar la pila, el abate Laborde ha dispuesto la suya de manera que esta reaccion se efectúe al través de un diafragma.

Para ello echa el agua pura en el vaso que contiene el zinc, despues se sumerge un diafragma de porcelana sin barnizar, lleno de ácido sulfúrico diluido en dos veces su volúmen de agua, y se introduce en él el vaso, el carbon ó la lámina de platino que debe constituir el apéndice polar. La corrien-

te que resulta de esta pila es muy enérgica y se mantiene constante durante varios dias, pues como hemos indicado ya, la corriente no proviene solo de la accion sobre el zinc, sino tambien de la que ejerce el ácido sulfúrico sobre el agua al través del diafragma, en la cual el ácido sulfúrico toma la electricidad positiva y el agua la negativa; de manera que este aparato se compone en realidad de dos pares que obran en el mismo sentido, como el elemento de Bunsen, y á medida que la accion del ácido sulfúrico sobre el agua disminuye, la del agua sobre el zinc aumenta por el ácido de que se apodera poco á poco, y esta compensacion progresiva contribuye á mantener en el mismo grado la fuerza de la corriente.

Los ensayos que ha hecho el abate Laborde para emplear el ácido sulfúrico concentrado, han demostrado que no conviene, porque además de que es menos buen conductor, se descompone, y el hidrógeno sulfurado que se desprende hace incómodo el uso de la pila. Véase, para mas detalles, la obra de Du Moncel, donde se describe además la curiosa manera de formar en batería esta pila cuando se aplica á la galvano-plástica.

Pila de Froment. Esta pila se compone de un vaso que contiene una disolucion ácida y un cilindro de zinc, y además un vaso poroso, al cual se añade y embetuna un tubo largo de vidrio, lleno, así como el diafragma, de la misma agua acidulada, y con una lámina de plomo, que no es atacada por la disolucion y sirve de electrodo negativo para comunicar al circúito exterior la electricidad positiva. Si la pila no se compusiera de mas partes que las ya descritas, obraria como un elemento débil ordinario, y la disolucion exterior se cargaria de sulfato de zinc. Froment ha establecido en la parte superior del tubo unido al diafragma, un frasco de Mariotte, que mantiene en él un nivel constante, y en el vaso exterior un sifon, que baja hasta el fondo y produce el mismo efecto. Como la diferencia de niveles en uno y otro caso es considerable, y muy grande la presion que ejerce el líquido del tubo

sobre las paredes del vaso poroso, las atraviesa y pasa al vaso exterior; pero el sifon desaloja igual cantidad á medida que va entrando, con la diferencia de que lo que entra es agua acidulada pura, y lo que sale es la parte mas cargada de sulfato de zinc; por consiguiente el líquido del elemento se renueva constantemente, y se tiene por decirlo así una pila permanente, mientras hay agua acidulada en el frasco de Mariotte.

Pila de Schoenbein. M. Schoenbein, el célebre descubridor de la ozona, ha obtenido muy buenos efectos con dos elementos ó pilas, que no son en realidad sino modificaciones de la de Bunsen. En vez de un vaso de vidrio ó de barro vidriado, lo emplea de hierro fundido pasivo, y en este vaso echa una mezcla de tres partes de ácido nítrico y una de ácido sulfúrico ordinario, el cilindro de carbon se suprime, y el vaso poroso que contiene el zinc amalgamado y el agua acidulada se coloca dentro del vaso de hierro colado, que viene á formar así el polo positivo de la pila.

El segundo de sus elementos, ó sea la otra combinacion, se diferencia del de Bunsen, en que reemplaza el zinc amalgamado con un cilindro de hierro colado no pasivo. (De La-Rive.)

Las acciones químicas pueden ser en las pilas de Schoenbein las mismas que en el elemento de Bunsen, pues no es de suponer que las modifique la presencia del ácido sulfúrico en el ácido nítrico, cuyo objeto principal debe ser, segun hemos visto en la pág. 171, deshidratar el ácido nítrico á medida que se va debilitando.

Pila de Maynooth ó de Callan. Esta pila, descrita en *El Cosmos*, segun una comunicacion del ingeniero del Panópticon, M. Warner, es una modificacion importante de la pila que acabamos de describir, y por esa razon la colocamos en este lugar, aunque en realidad le corresponderia estar entre las de un líquido.

Se compone de una série de elementos ó pares formados de hierro fundido y zinc amalgamado, que se arma ó excita

con uno de los líquidos siguientes : 1.° ácido cloro-hídrico del comercio, ó ácido cloro-hídrico concentrado, diluido en un volúmen de agua igual al suyo ; 2.° una mezcla de partes iguales de ácido sulfúrico y de ácido cloro-hídrico, diluido en un volúmen igual de agua; 3.° ácido sulfúrico diluido en un volúmen de agua doble del suyo ; 4.° ácido sulfúrico, mezclado con un volúmen triple que el suyo de solucion concentrada de sal comun. Este último líquido es preferible á los demás y la corriente voltáica que produce sobre dos planchas de hierro y zinc, colocadas una junto á otra, es mucho mas intensa que la que se obtiene de una pila cualquiera de las de ácido nítrico de las mismas dimensiones, como parece haberse experimentado por medio de un buen galvanómetro de alambre corto y grueso.

Gluckman, *Payerne*, *Frascara* y otros han empleado tambien, como Schoenbein, el hierro en lugar del zinc, unas veces en virutas, otras en limaduras, otras constituyendo el vaso exterior mismo, y M. Beckensteiner, inventor de un sistema análogo, pretende que la reaccion del ácido nítrico sobre el sulfato de hierro que se deposita, forma un sulfato sobreoxidado, que se emplea como mordiente en la tintorería y que en general se prepara directamente echando ácido nítrico sobre el sulfato de hierro.

Pila de Watson. El Dr. Watson cree haber conseguido sin costo ninguno, ó á muy bajo precio, la luz eléctrica, haciendo que la corriente que ilumina los carbones la produzcan sustancias cuyos resíduos sean materias colorantes, como el cromato de plomo. Segun lo cual, la nueva pila de Watson debe componerse de láminas de plomo en vez de las de zinc, y emplear el bicromato potásico como líquido excitador, en lugar del ácido sulfúrico. Por desgracia no se tiene noticia de los trabajos de la compañía fundada para beneficiar esta idea á pesar de los pomposos anuncios con que hizo saber su establecimiento.

Pila de Poggendorff. Segun este sábio físico, con tres par-

tes de bicromato potásico, cuatro de ácido sulfúrico y diez y ocho de agua, se consigue en las pilas de Grove ó de Bunsen un efecto tan enérgico como con el ácido nítrico; segun parece, se forma un alumbre de cromo en la disolucion, despues de la reduccion completa del ácido crómico, y si se recogen los resíduos, se puede revivificar el bicromato potásico sin perder la sal de cromo.

Pila de Doat. Esta pila, como la de Poggendorff, que acabamos de describir, ha sido imaginada con objeto de extraer económicamente de los resíduos, las sustancias primeras que han servido para hacerla funcionar. Darémos una descripcion detallada con arreglo á la que han publicado los periódicos científicos, el *extracto de las sesiones de la Academia de Ciencias* correspondiente al 5 de mayo de 1856 (en cuya sesion se dió á conocer por primera vez), y sobre todo, segun la descripcion, acompañada de figuras, que da Du Moncel en la última edicion de sus *Aplicaciones de la electricidad.*

En esta pila, el mercurio metálico reemplaza como elemento positivo al zinc de las pilas ordinarias. Una solucion saturada de *ioduro de potasio* hace las veces del agua acidulada por el ácido sulfúrico; el *iodo*, disuelto en el ioduro de potasio, sustituye al ácido nítrico ó al sulfato de cobre de las pilas de dos líquidos, y sirve para mantener la constancia de la corriente durante varios dias, cualquiera que sea la energía de su accion; el *carbon* se emplea como elemento negativo.

En el fondo de una vasija cuadrada de gutta-percha E, F, G, H (figura 58), se echa una capa delgada de mercurio; sobre esta una disolucion de *ioduro de potasio*, y sobre este líquido flota una segunda vasija, cuyos lados son de gutta-percha, pero que tiene el fondo de porcelana porosa. Adaptada á esta segunda vasija y sumergida en una capa de ioduro de potasio, hay una

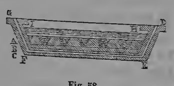


Fig. 58.

rejilla *A*, hecha con carbones de retorta, sobre la cual se colocan cristales de iodo y forma el polo positivo de la pila.

Cuando se cierra el circúito, el ioduro de potasio ataca el mercurio con gran energía, forma proto-ioduro de mercurio, que en presencia del ioduro alcalino, abandona la mitad de mercurio en estado metálico y se cambia en per-ioduro. Esta última sal, que es una de las sustancias que ataca con mas energía el mercurio, viene á añadir su accion á la del ioduro de potasio, y cada vez que el proto-ioduro se convierte en per-ioduro, una parte del metal que lo constituye se revivifica y se forma una nueva combinacion entre el potasio que queda en libertad y el iodo que hay sobre la rejilla de carbon, de manera que la solucion ó líquido excitador se encuentra siempre en el mismo grado de saturacion, hasta que absorbe todo el iodo; hace, por consiguiente, esta combinacion el mismo efecto que la absorcion del hidrógeno en las pilas de Bunsen, y á ella se debe la constancia y la energía del desprendimiento eléctrico; la constancia sobre todo, que es notable, y se comprende fácilmente si se reflexiona que el per-ioduro de mercurio que se forma como resíduo, y que satura mas ó menos la solucion de ioduro potásico, provoca la accion excitante de esta solucion, en vez de disminuirla como hace el sulfato de zinc en las pilas de Bunsen. Cuando se consume todo el iodo que hay sobre la rejilla, la disolucion de ioduro de potasio se satura enteramente de per-ioduro de mercurio, y la pila se debilita considerablemente.

Para revivificar los elementos excitadores, M. Doat empieza por calentar en una cápsula de platino, cubierta y en comunicacion con un gran recipiente de vidrio, la disolucion que ha extraido de la pila por medio de un sifon. A una temperatura no muy elevada, el per-ioduro de mercurio se volatiliza y viene á condensarse sobre las paredes del recipiente, dejando en la cápsula el ioduro de potasio revivificado. Tomando en seguida el per-ioduro de mercurio condensado, mezclándolo con barita cáustica en exceso, se forma un óxi-

de mercurio y un ioduro de bario que es fácil separar por un nuevo caldeamiento. El mercurio, en efecto, se volatiliza y se condensa en gotas muy finas en las paredes del recipiente; el iodo se extrae del ioduro de bario, añadiendo agua mezclada con algunos cristales de iodo, y calentado de nuevo, el iodo cristaliza en las paredes del recipiente, y evaporando á sequedad, se acaba por tener la barita cáustica, que sirve para una nueva revivificacion.

A primera vista, cuando se considera el precio elevado del iodo y del mercurio, las dimensiones considerables que hay que dar á cada elemento, y el cuidado que se necesita para la instalacion de varios de ellos, podria creerse que esta pila no es susceptible de aplicaciones prácticas; pero si á estos inconvenientes se oponen las ventajas que presenta, como son la produccion de una corriente enérgica y rigorosamente constante durante varios dias, la posibilidad de revivificar las materias excitantes, sin mas gasto que el de una pequeña cantidad de carbon, y la pérdida mecánica de materia y de utensilios, se comprenderá sin dificultad que en las aplicaciones en grande de la electricidad, donde el primer costo de los aparatos no es nada en comparacion del gasto de sostenimiento, estas pilas podrán prestar muy grandes servicios.

En cuanto á la instalacion, una vez hecha sobre tablas móviles, superpuestas unas á otras, y reunidas por una armadura, que por medio de un tornillo permitiera inclinarlas mas ó menos, ofreceria mas ventajas que la de las demás pilas; porque bastaria inclinar las vasijas mas ó menos, para que variando el nivel del mercurio, y por consiguiente, la extension de su superficie en contacto con el líquido excitador, se regulara fácilmente la cantidad de electricidad.

La fuerza electro-motriz de esta pila, dice su autor, es próximamente un tercio mas débil que la de un elemento de Bunsen de la misma superficie; M. Regnault ha presentado últimamente á la Academia de Ciencias el cálculo exacto que habia hecho de ella, pero no es del caso entrar en su exámen;

los que quieran mas pormenores pueden acudir al *extrac. de las sesiones de la Academia de Ciencias* del 7 de julio de 1856 baste decir aquí, que tomando por unidad el elemento termo-eléctrico, bismuto y cobre de 0° y 100° del centígrado, la fuerza electro-motriz del elemento de Doat, tal como lo hemos descrito, es de 102 unidades, cuyo valor se apreciará mejor sabiendo que el elemento de Daniell equivale á 175 unidades y el de Grove á 310.

Despues de la presentacion de su pila á la Academia, M. Doat ha hecho saber que la habia mejorado, sustituyendo al mercurio diversas amalgamas, y sobre todo la amalgama de zinc; en esta sustitucion, dice, la tension y la cantidad de electricidad son comparables, y aun superiores, á la tension y á la cantidad de las pilas de Grove y de Bunsen, y no se pierde ninguna de las ventajas de la revivificacion. Con la amalgama de zinc la fuerza electro-motriz es de 216 unidades, con la amalgama de sodio 381, y con la de potasio 386. Fundado en que la afinidad hace un papel importantísimo en los fenómenos voltáicos, M. Jules Regnauld ha sustituido al iodo del elemento de Doat, el bromo y el cloro, y ha obtenido con la amalgama de bromuro de potasio 471 unidades, y con la de cloruro de potasio 512.

La revivificacion de los ioduros de los metales electro-positivos amalgamados, fué una de las dificultades que se presentaron á M. Doat, cuando quiso sustituir sus amalgamas al mercurio; felizmente se encontró con que el carbonato básico de bióxido de cobre es uno de los agentes de descomposicion mas enérgicos que hay para los ioduros, y con su auxilio verifica sin ninguna dificultad la revivificacion de los elementos de su pila, formada con la amalgama de zinc, el ioduro de potasio y el iodo.

La disposicion de la pila es exactamente la misma que se ha descrito para cuando se emplea el mercurio solo, con vasos de la misma forma; pero en la rejilla de carbon se dispone un filtro de barro poroso que contiene el carbonato

bióxido de cobre hidratado. Despues que la pila ha funcionado algun tiempo, se saca el líquido que contienen las vasijas, y se echa en los filtros, donde se descompone muy pronto á la temperatura ordinaria, é instantáneamente á los 60° centíg. (Véase *El Cosmos* de 16 de diciembre de 1856.)

Pila de Selmi. Un periódico italiano, *La Corrispondenza de Turin*, ha anunciado que el profesor de física Selmi habia inventado una nueva pila de fuerza constante, cuya construccion se funda en un principio nuevo, que se presta maravillosamente á las aplicaciones industriales. El autor asegura que su pila es sencilla y poco costosa, que no desprende gases deletéreos y que es mucho mas enérgica que la de Daniell, aunque algo inferior en intensidad á las de Grove y Bunsen.

El elemento de esta pila se compone, segun la descripcion que da M. Govi, de un vaso de vidrio ó de loza, en cuyo fondo se pone una chapa de zinc sin amalgamar, que comunica con la parte exterior por un apéndice metálico, que forma uno de los polos de la pila; sobre la chapa de zinc se coloca una espiral de cobre, hecha con una hoja de este metal enrollada, con otro apéndice para establecer la comunicacion con el exterior de la pila. Se cubre enteramente con una disolucion de sulfato de potasa la chapa de zinc, y hasta cierta altura la de cobre; y tan luego como se reunen por un conductor los dos apéndices del cobre y del zinc, se establece una corriente, cuya constancia dura meses enteros.

Lo que hay de nuevo en la pila de Selmi, lo que constituye su bondad, segun parece, es *el triple contacto* que hay entre el sulfato de potasa y el zinc, el sulfato de potasa y el cobre y entre el cobre y el aire; porque cuando el cobre está enteramente cubierto por la disolucion, la corriente se debilita de una manera notable. El autor de esta pila explica el fenómeno; y si las ventajas que anuncia son positivas, dice M. Govi, su pila será, entre las conocidas, la que menos cueste y mas trabajo regular produzca.

Pila de aluminio. En la sesion celebrada el 21 de mayo de 1855 en la Academia de Ciencias de Paris, M. Dumas, el célebre químico, hizo saber que el director de los talleres de galvano-plástica de la casa de moneda de Paris habia obtenido resultados muy satisfactorios en los ensayos verificados con objeto de ver si podria sustituirse el aluminio al platino en las pilas de zinc y agua acidulada.

Un mes antes que M. Hulot, Wheatstone habia presentado á la Sociedad Real de Lóndres una nota con el resultado de las observaciones que habia hecho con el mismo objeto, y segun los cuales el aluminio es electro-negativo con respecto al zinc, cuando se sumerge en ácido sulfúrico diluido ó en ácido nítrico tambien diluido; por el contrario, es positivo con respecto al cobre y al platino, sumergidos en los mismos ácidos diluidos.

M. Hulot, que seguramente no conocia los trabajos de Wheatstone, ha verificado por su parte que un par de aluminio y de zinc amalgamado, excitado por el agua acidulada á 20°, da orígen á un desprendimiento considerable de hidrógeno, y á una corriente, comparable cuando menos á la de un elemento de zinc y de platino excitado en el mismo grado. Segun Wheatstone, el par de cobre y aluminio, excitado por el ácido cloro-hídrico diluido, da una corriente incomparablemente mas enérgica y mas constante; y el elemento de aluminio y de zinc, excitado por una disolucion de potasa, produce tambien, segun parece, muy buenos resultados.

Cuando se hicieron estos experimentos, el aluminio costaba tres francos el gramo, y por consiguiente, á pesar de ser nueve veces mas ligero que el platino, no podia considerarse la cuestion sino científicamente y como de porvenir; pero hoy, que cuesta ya diez veces menos, vendido al pormenor, segun lo ha indicado M. Dumas en la sesion del 13 de octubre de 1856, es tiempo de repetir los experimentos de Wheatstone y de Hulot, y tratar de aplicar á la industria esta nueva conquista de la ciencia.

Pila de Lacassagne y Thiers. Otra pila en que hace un papel importante el aluminio, no como elemento constitutivo, sino como producto de la reaccion que se verifica en ella, es la que dicen haber inventado los Sres. Lacassagne y Thiers, destinada principalmente á producir la luz eléctrica por medio de una lámpara de su invencion y un regulador electrométrico destinado á obtener constantemente una corriente de la misma intensidad.

La desconfianza que manifiesta Du Moncel al hacer mencion de esta pila en su obra, se apoderó tambien de nosotros al ver los pomposos anuncios con que se dió á conocer esta invencion; pero debemos confesar que aunque no conocemos todavía los efectos de la pila de Lacassagne y Thiers, y no sabemos acerca de ella sino muy poco mas que lo que sabiamos cuando se divulgó la noticia, nuestra desconfianza ha disminuido desde que hemos visto el resultado de su lámpara eléctrica, y particularmente de su *regulador electro-métrico;* aparato ingeniosísimo y muy importante, que describirémos en el capítulo VII. No parece probable que quien tan bien cumple lo que promete en una parte de su invencion, digna por sí sola de los mayores elogios, se exponga á disminuir su gloria, usando de charlatanería en lo restante; extrañamos, sin embargo, que los Sres. Lacassagne y Thiers no hayan hecho conocer al mismo tiempo todo el conjunto de su invencion, valiéndose de su pila para los ensayos de luz eléctrica que han practicado recientemente en Paris, en vez de las baterías de Bunsen que han empleado; su triunfo hubiera sido mas completo.

Segun los periódicos de Lion, primeros que publicaron la noticia, el nuevo generador eléctrico es una pila seca, que funciona sin agua ni ácidos, porque estos líquidos se reemplazan con sales anhidras, que pasan al estado de fusion ígnea y producen en la operacion el aluminio, que se aglomera en botones en el fondo de uno de los crisoles que se emplean; pero describamos mas bien el aparato.

Se compone de dos crisoles concéntricos, separados por un cilindro de hierro. En el espacio comprendido entre el cilindro y el crisol exterior se echa sal comun, una sal de alúmina en el espacio que queda entre el cilindro y el crisol interior, y en este se introduce un cilindro ó un prisma de carbon. Calentando el aparato hasta el rojo, las dos sales entran en fusion, y tan luego como se unen los dos conductores polares, soldado el uno al hierro, y en contacto el otro con el carbon, se produce una accion eléctrica de una fuerza notable. Esta pila tiene además, segun dicen, la propiedad de obrar, no solo conjuntamente con una série de elementos de la misma naturaleza, y producir así un poder eléctrico enorme, sino la de unirse con pilas de otro género. El aluminio se deposita en el fondo del crisol interior, en forma de granalla ó de boton, despues de dos horas de fuego.

Harémos mencion de otras dos pilas, en que el calor hace un papel importante, y aunque no han servido hasta ahora mas que como aparatos de demostracion, el principio en que están fundadas es nuevo y pudiera dar orígen á trabajos que lo hicieran aplicable á la construccion de pilas industriales, en que se quisiera ó hubiera necesidad de suprimir los líquidos excitadores, como han empezado á hacerlo los Sres. Lacassagne y Thiers. Estas pilas, debidas á Becquerel y á M. Buff, dan orígen á corrientes eléctricas, que el primero de estos dos físicos ha llamado corrientes *pyro-eléctricas*, aunque De La-Rive afirma que son debidas á un orígen puramente químico. No entrarémos en el exámen de esta cuestion, porque nos llevaria demasiado léjos; nos contentarémos, con describirlas ambas.

Pila pyro-eléctrica de Becquerel. En un crisol de barro coloca una lámina de cobre enterrada entre vidrio molido; introduce tambien en este una varilla de hierro, y expone el crisol al calor de un horno de reverbero.

Obtiene Becquerel los mismos resultados introduciendo en el crisol, lleno de vidrio molido, con las dos varillas de co-

bre y de hierro, un 25 por 100 de carbonato de sosa, para facilitar la fusion.

En sus ensayos ha reemplazado el hierro con un cilindro de carbon, y ha obtenido efectos análogos.

Aunque otras sustancias pueden hacer el mismo efecto que el vidrio, este ha parecido preferible en todos los ensayos que se han hecho.

Pila pyro-eléctrica de Buff. Haciendo experimentos sobre la conductibilidad del vidrio calentado, M. Buff ha conseguido construir una pila en que el vidrio reemplaza al líquido electrolítico, pero de distinta manera que Becquerel. Coloca unos sobre otros, y en el mismo órden, discos de laton dorado, discos de zinc y láminas delgadas de vidrio; despues une por medio de un alambre de platino el primero y último de los discos que cubrian las láminas de vidrio, formando así una verdadera pila de columna de cuatro centímetros de altura. Comprimiendo en seguida las láminas, para poder someterlas á la corriente de aire caliente de una lámpara de Argand, obtuvo por resultado una divergencia de 10 milímetros en el electróscopo de hojas de oro; una vez calientes los discos, un contacto de algunos segundos producia una divergencia de 35 milímetros lo menos.

Esta pila, empleada en varias ocasiones, no habia perdido nada de su fuerza electro-motriz al cabo de cinco meses.

Aunque no lo dice De La-Rive, el sentido de la corriente en esta pila será el mismo que en la de Becquerel, en la cual marcha del hierro al cobre al través del vidrio; es decir, que en la de Buff debe dirigirse del zinc al laton en la pila.

Otra pila, de la cual no tenemos mas noticias que las pocas líneas que inserta Du Moncel en su obra, desarrolla la electricidad, segun parece, proyectando un chorro de vapor de agua sobre carbones incandescentes; no harémos reflexion ninguna acerca de esta pila, porque serian aventuradas en este momento, y como son muchas las combinaciones de elementos que pueden hacerse para formar pares, infinito el nú-

mero de los líquidos excitadores que pueden emplearse, y no menos numerosas las disposiciones que se adopten para activar su accion ó regularizarla, el análisis no debe aplicarse, para no perder el tiempo inútilmente, sino á aquellos aparatos que han dado en los ensayos resultados satisfactorios, que se fundan en un principio reconocidamente fecundo, ó que presentados con todos los detalles que exigiria una aplicacion inmediata, y apoyados con ciertos hechos, hacen posible y fácil dicho análisis, sin tener que recurrir para hacerlo á suposiciones mas ó menos aventuradas.

Pila de Melsens. En la descripcion de un sistema de avisador eléctrico, privilegiado en Bélgica en el mes de abril de 1856, vemos la descripcion de otra pila, que no podemos menos de mencionar por la originalidad de la idea, y porque si bien no creemos que en las aplicaciones que hoy se hacen de la electricidad á la industria, haya necesidad de recurrir al medio que propone M. Melsens para obtener una economía en la produccion del flúido eléctrico, pueden ser tales las proporciones y el giro que tomen dichas aplicaciones, que no sea indiferente aprovechar la mas pequeña reduccion en los gastos. Preocupado sin duda con la idea de la economía, M. Melsens propone, no solo para su sistema de avisador eléctrico, sino para los telégrafos de las líneas de camino de hierro y cualesquiera otros usos : « Una pila en que se emplea la orina como líquido excitador, ya solo y sin diafragma, en presencia de dos cuerpos, ya con diafragma, separándolo del segundo líquido conductor, ya en fin, en uno y otro caso mezclado con ciertos cuerpos que hagan su accion mas enérgica.» Estos son los términos en que se expresa el inventor, y segun los cuales se ve que reclama para sí la idea de emplear la orina como líquido excitador, cualquiera que sea la manera como se emplee. Son curiosas las observaciones que hace para probar la economía de este líquido.

Pilas de gas.

La pila de Grove, representada en la figura 59, se compone de unas campanas de vidrio, llenas en parte de hidrógeno y oxígeno, sumergidas boca abajo en agua ligeramente acidulada con ácido sulfúrico. Cada elemento contiene dos de estas campanas, una de hidrógeno y otra de oxígeno, y en cada una hay una hoja de platino platinado que ocupa casi toda su altura. En el sistema representado en la figura 59, estas hojas salen por la parte alta de las campanas, donde están herméticamente selladas. En otros sistemas, Grove introduce la tira de platino hasta la parte alta de las campanas; allí las dobla, y vuelve á replegarlas en la parte baja para que salgan del líquido; la pila se compone haciendo comunicar el platino del hidrógeno del primer vaso con el del oxígeno del segundo; el del hidrógeno de este con el del oxígeno del siguiente, y así sucesivamente; de suerte que las dos tiras de platino de los extremos pertenecen á gases diferentes; la del oxígeno forma el polo positivo de la pila, y la del hidrógeno el negativo.

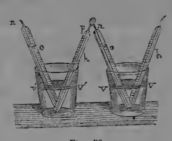


Fig. 59.

Cuando se ponen en comunicacion los dos polos, se produce una corriente de una intensidad notable, que da conmociones bastante enérgicas, chispas muy vivas, y posee una fuerza descomponente de alguna intensidad.

Pila hidrodinámica de Carosio. No consagrarémos á esta pila el gran número de páginas que parecia exigir el interés con que se ha debatido la cuestion de si el Dr. Carosio, al prometerse inmensos resultados con *su pila hidrodinámica*, era solo un visionario, ó debia justificar la frase en que se le equipara á su compatriota Colon. La experiencia parece haber decidido ya la cuestion, y como por desgracia el éxito

no ha correspondido á las grandes esperanzas que se habian fundado en ella, nos contentarémos, porque basta para la historia de la ciencia, con indicar el principio en que se funda, y dar la descripcion del aparato construido, bajo las órdenes de Carosio, por los Sres. Deleuil padre é hijo.

El aparato electro-magnético que el Dr. Carosio llama pila electro-dinámica, está fundado en la teoría de los equivalentes electro-químicos, y en la ley de Faraday, que establece que la corriente eléctrica está en razon directa de la accion química, y por consiguiente, que la cantidad de electricidad que sirve para descomponer un gramo de agua en sus dos elementos, oxígeno é hidrógeno, es igual á la que resulta de la combinacion de estos dos mismos gases cuando se unen para formar otro gramo de agua ; y el inventor se apoya en la pila de gas de Grove y en la opinion de Pouillet, que lo ha demostrado en su tratado de física.

En un informe que ha presentado el célebre ingeniero prusiano Siemens, no solo se muestra propicio á la idea de Carosio, sino que fundado en los resultados de los trabajos de Grove, Thompson y otros físicos, que prueban que el calor, la electricidad, la luz, el sonido, la afinidad química y la fuerza dinámica no son sino las diferentes manifestaciones de una gran causa universal, *el movimiento,* concluye diciendo que la realizacion final del principio contenido en la invencion de Carosio es para él una cosa cierta. Por desgracia no se ha logrado el resultado final, que era nada menos que el de producir un movimiento mecánico, capaz de sustituir el de las máquinas de vapor ordinarias, por medio de la corriente eléctrica, obtenida con la descomposicion y recomposicion del agua. Pero vamos á la descripcion del aparato construido por Deleuil.

Consiste en dos grandes cilindros, que forman, uno la pila y otro el voltámetro. Las paredes del primer cilindro son de gutta-percha perfectamente moldeada, y está dividido en dos compartimentos por un diafragma de barro poroso. Ocupan-

do toda la longitud de cada compartimento, hay un cilindro de carbon torneado, del cual cuelgan ciento veinte planchas rectangulares, tambien de carbon, que constituyen los elementos positivos de la pila de gas. Esta pila cuenta, pues, dos veces ciento veinte, ó sean doscientos cuarenta elementos, y se llena hasta la mitad de agua acidulada por él ácido sulfúrico.

El voltámetro tiene las paredes de vidrio; está dividido tambien en dos compartimentos por un diafragma de porcelana porosa, y á lo largo de cada uno de los compartimentos hay tres tubos cubiertos con hojas de platino. Las hojas de platino de uno de los compartimentos comunican con el polo negativo, las del otro con el polo positivo; el primer compartimento se llena hasta la mitad de agua acidulada, y la otra mitad de gas oxígeno, y el segundo con partes iguales de agua acidulada é hidrógeno. Una vez armada esta pila, debia producir los maravillosos efectos que hemos indicado; es decir, una cantidad inmensa de gases, que á su vez deberian mover los pistones de una poderosa máquina.

Segun parece, otro italiano, el Sr. Frascara, no desalentado por los resultados de Carosio, se ocupa en resolver el problema de la misma manera.

Pilas secas.

Estas pilas, entre las cuales deberiamos tal vez haber colocado las de Lacassagne y Thiers, Buff y Becquerel, difieren de las ordinarias, porque el conductor interpuesto entre los pares ó elementos, es un cuerpo sólido ligeramente humedecido.

Las primeras pilas secas fueron construidas en 1803 por Hachette y Desormes, con discos de zinc y de cobre, separados por una pasta de almidon; despues sustituyó Biot al almidon el nitrato de potasa ó salitre, que es, entre las sales, uno de los mejores conductores. En 1809, Deluc, á quien se considera generalmente como el verdadero inventor de las

pilas secas, presentó una de columna, formada de trescientos discos de zinc, y otros trescientos de papel dorado por un solo lado; y en 1812, Zamboni, con cuyo nombre se conoce esta clase de pilas, las perfeccionó, prensando fuertemente unos contra otros, millares de discos de papel un poco fuerte con una superficie estañada, y la otra cubierta con una capa de peróxido de manganeso. Algunas veces se empapa el papel con una ligera disolucion de leche, de manteca, de miel, de aceite, de trementina, etc.; pero si bien por estos medios se consigue que las pilas parezcan mas fuertes al principio, tienen el inconveniente de deteriorarse prontamente, en comparacion de las primeras, porque es raro que despues de algunos años conserven aun su energía primitiva.

Las pilas de Zamboni no dan conmocion ninguna; no producen tampoco descomposicion química; pero con una pila de mil ó de dos mil elementos, se carga un condensador, y se obtiene algunas veces una chispa; es verdad que se necesita que pase algun tiempo para que la pila repare sus pérdidas, ya sea por la lentitud de las acciones químicas, segun dicen los partidarios de esta teoría, ya por la mala conductibilidad del papel, segun los que creen en la teoría del contacto.

Se ha hecho una aplicacion de las pilas secas, que se conoce con el nombre de *electróscopo de Bohnemberger*, su autor. Despues de haber suprimido una de las hojas del condensador de hojas de oro, dispone á igual distancia de la restante, los dos polos de una pila seca muy poco enérgica; es evidente que la menor carga de electricidad positiva ó negativa, por pequeña que sea, hace que la hoja, que es muy móvil, se dirija hácia el polo positivo ó hácia el negativo; y una vez empezado el movimiento, continúa sus idas y venidas durante algun tiempo.

Por último, M. Delezenne ha construido recientemente pilas secas de grandes dimensiones, con hojas de papel estañado, de 178 milímetros de longitud por 158 de anchura, y ha pro-

bado que con trescientos de estos elementos, convenientemente húmedos y prensados, se obtienen conmociones bastante vivas, y una descomposicion del agua muy sensible.

Pilas termo-eléctricas.

No se crea que por colocar en este capítulo la descripcion de las pilas termo-eléctricas, queremos atribuir el desarrollo de la electricidad en ellas al mismo orígen que el de la electricidad voltáica; porque aunque no estamos muy léjos de pensarlo así, es todavía una hipótesis vaga, que no se funda en hechos capaces de elevarla al ramo de las buenas teorías; esperamos, sin embargo, que los adelantos del entendimiento humano nos acerquen á la unidad científica y á la suprema sencillez, que tal vez no llegue á alcanzar el hombre, pero hácia la cual marcha incesantemente, impulsado por una fuerza irresistible.

Las corrientes desarrolladas por las pilas termo-eléctricas son tan idénticas á las voltáicas, que han servido las unas para calcular las leyes de las otras; y si existe en las segundas una regularidad que no tienen las primeras, en nuestro concepto se debe solo á la del agente generador; regularidad debida, acaso á su vez, á que en las pilas termo-eléctricas la causa determinante general de todo desarrollo eléctrico obra menos indirectamente que en la frotacion y en el contacto ó reacciones químicas.

Ya hemos dicho que si se sueldan dos barras de metal extremo con extremo, formando un circúito, y se mantienen las dos soldaduras á una temperatura distinta, hay una manifestacion eléctrica en forma de corriente, y esta manifestacion es tanto mas sensible, cuanto mayor es el número de soldaduras, teniendo á una temperatura igual los pares, y á otra diferente los impares; en este principio está fundada la pila que vamos á describir en el párrafo siguiente.

Pila termo-eléctrica de Oersted y Fourrier. Es la primera de

este género que se conoció, y se compone de una série de barras pequeñas de bismuto y de antimonio, soldadas unas á continuacion de otras en línea recta ó en círculo. A cada dos soldaduras, las barras de bismuto terminan en una especie de codo que se sumergen en hielo á 0°, mientras que las otras, es decir, las impares, se elevan á 200 ó 300 grados con el calor de una ó mas lámparas.

Pila termo-eléctrica de Nobili. El célebre físico italiano de este nombre modificó la forma de la pila que hemos descrito, para reunir mayor número de elementos en un pequeño volúmen. Las barras de bismuto y antimonio están dispuestas de manera, que despues de haber formado una série de cinco pares, como en la figura 60, la barra de bismuto *b* se suelda lateralmente al antimonio de una segunda série semejante, despues el último bismuto de esta al antimonio de una tercera, y así hasta cuatro séries verticales, que contienen veinte pares. Los elementos están aislados unos de otros por medio de tiras de papel impregnadas de barniz, y se encajan en un estuche de cobre *P* (figura 61), de manera que solo las soldaduras aparecen en los costados de la pila. Dos vástagos de cobre *m* y *n*, aislados por un anillo de marfil, comunican interiormente uno con el primer antimonio, y representa el polo positivo, otro con el último bismuto, y forma el polo negativo.

Fig. 60.

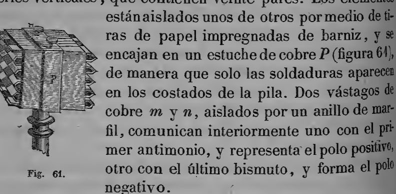


Fig. 61.

Pila termo-eléctrica de Morren. M. Morren ha presentado á la Academia de Ciencias de Paris una nueva pila termo-eléctrica, construida con hoja de lata y bismuto, que segun parece tiene algunas ventajas sobre la de antimonio y bismuto, 1.° porque se construye con mas facilidad; 2.° porque basta martillar uno de los extremos de la hoja de lata para que aumente su sensibilidad y rivalice con la pila de Melloni;

3.° el poco grueso de la hoja de lata disminuye la masa metálica, y permite en un volúmen dado reunir mayor número de elementos; 4.° porque la reaccion termo-eléctrica de los dos metales no sufre la influencia de la interposicion variable de los metales extraños que entran en la soldadura.

Con este capítulo damos fin al segundo período de la historia de la electricidad, en el cual ha sido preciso hablar de algunos descubrimientos posteriores al que dió principio á la tercera época de esta ciencia; porque no es posible conservar un órden cronólogico absoluto, sin diseminar ideas que deben estar reunidas, para no confundir al lector y para no truncar la descripcion misma de un simple aparato que ha ido sufriendo modificaciones sucesivas, modificaciones que no podrian mencionarse luego aisladamente.

Al tratar del galvanismo ó electricidad voltáica, se detienen generalmente los autores en el estudio de la electroquímica, que nosotros no hemos hecho mas que indicar, porque no era posible otra cosa sin extenderse mas de lo que permite la naturaleza de este trabajo. Recomendamos para dicho estudio el tratado de electricidad de De La-Rive ó de Becquerel, cuyo segundo tomo está casi exclusivamente destinado á la electro-química.

CAPITULO III.

MAGNETISMO.

Antes de entrar en el tercer período de la relacion histórico-elemental que hacemos de la electricidad, y que da principio con el descubrimiento de Oersted en 1820, es indispensable que digamos algunas palabras sobre el *magnetismo*, considerado por los físicos, no hace mucho tiempo, como un flúido especial, llamado imponderable por la razon que indicamos al dar la definicion de la electricidad. Las mismas consideraciones que hicimos allí, podriamos repetir sobre la impropiedad de esta definicion, pero seria inútil, porque hay ya motivos muy fundados para creer que el magnetismo no es sino un estado particular de la electricidad. Mas adelante tendrémos ocasion de convencernos de ello.

Desde los tiempos mas remotos se conoce la propiedad que tienen algunos minerales de hierro de atraer las partículas y pedazos pequeños de este metal; dichos minerales han recibido el nombre de *imanes*, del griego *magnes*, ya sea, y es lo mas probable, porque existieron con abundancia en Magnesia, comarca de Lidia, ya porque realmente sucediera allí el hecho que refiere Plinio, ocurrido en el año 3200 de la creacion. Dice que un pastor llamado Magnes, en cuyo calzado habia algo de hierro, notó gran dificultad en levantar los piés al pasar por encima de una piedra; esta tomó entonces el nombre del pastor, y mas tarde debió recibirle la ciudad de las minas que habia en sus inmediacio-

nes. Lo cierto es que las propiedades del iman, como las del ámbar, parecieron milagrosas á los antiguos, y llegaron hasta suponerle un alma.

Se llaman *imanes naturales* los óxidos de hierro y demás sustancias que se encuentran en la naturaleza y poseen la propiedad de atraer el hierro, para distinguirlos de los que pueden hacerse artificialmente, ya por medio de fricciones, ya por medio de la electricidad, segun lo describirémos á su tiempo.

Los *imanes artificiales*, de que hablarémos en este capítulo, y que son los que conservan ese nombre, consisten en barras ó agujas de acero templado, que despues de sometidas á cierta operacion, adquieren las propiedades de los naturales, ejercen como ellos el poder de atraccion á cierta distancia y al través de todos los cuerpos; como en ellos, el poder disminuye rápidamente á medida que aumenta la distancia, y varia tambien con la temperatura, disminuyendo cuando esta aumenta, y volviendo á su primitivo estado cuando se enfria, á menos que no haya pasado de cierto límite; porque calentados hasta el rojo, los imanes pierden enteramente su poder de atraccion. Esta última fuerza se ha llamado *fuerza magnética*, y se le ha conservado el nombre de *magnetismo* á la teoría con que se explican sus leyes, ó sea á la ciencia que trata de sus propiedades.

La fuerza magnética no es igual en toda la extension de un iman; tiene su grado máximo en los dos puntos extremos mas distantes; disminuye á medida que se aleja de ellos, y es nula en la parte media, como puede verse introduciendo una barra imantada entre una gran cantidad de limaduras de hierro (figura 62); las partes *p* y *p'* se cubren del metal en forma de flecos ó penachos; á la parte *m m* no se adhiere absolutamente nada, y la forma del fleco,



Fig. 62.

debida á la mayor cantidad de polvo metálico adherente,

indica que va disminuyendo la fuerza de atraccion desde p á m. Se ha dado el nombre de *polos magnéticos* á los puntos p y p' en que se manifiesta el máximum de atraccion; *línea neutra* la parte de iman m m en que la fuerza magnética es insensible, y es un hecho inconcuso que todo iman natural ó artificial tiene dos polos y una línea neutra. Sucede sin embargo que en la imantacion de las barras y de las agujas, se producen algunas veces polos intermedios entre los dos extremos, á los cuales se ha llamado *puntos consecuentes*; pero siendo esto debido á circunstancias especiales, no nos referimos en las explicaciones que siguen, sino al caso general de un iman que presenta dos polos y una línea neutra.

Parece á primera vista, cuando se considera el iman de la figura 62, que si se dividiera en dos partes por la línea m m, resultaria en cada trozo un polo p, en que la atraccion fuese máxima, y un extremo m, en que la fuerza magnética fuera insensible; pero no sucede así, sino que cada uno de los fragmentos se convierte en un nuevo iman con sus dos polos y su línea neutra, de manera que la parte m m, en que la atraccion era nula antes de dividirlo, pasa á ser en cada uno de los trozos un polo donde la fuerza magnética es máxima; y si se subdividen estos trozos sucederá lo mismo, sin que haya límite á esta propiedad, que debe tenerse muy presente para cuando despues de mencionar otra no menos importante, examinemos la teoría del magnetismo.

Los dos polos de un iman parecen idénticos cuando se les acerca un pedazo de hierro ú otra sustancia magnética; pero si se les aproxima otro iman, habrá atraccion ó repulsion, segun el polo de este que se presente. Sean, por ejemplo, a b y a' b' dos agujas imantadas, colgadas de un hilo (figura 63), y A B una barra, tambien imantada. Si se aproxima el polo A de la barra al polo b de la primera aguja, se

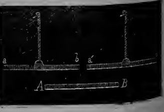


Fig. 63.

observará que hay atraccion, y lo mismo sucederá con el polo b' de la segunda aguja; si el mismo polo A de la barra se presenta sucesivamente á los polos a y a' de las agujas, habrá repulsion en ambas. Cuando es el polo B el que se presenta, hay atraccion de los polos a a' y repulsion en los b b'; por consiguiente, en todo iman hay un polo que es atraido, y otro repelido por cada uno de los polos de un segundo iman. Ahora bien, se observa que si se ponen en presencia uno de otro los dos polos a y a' de las agujas que eran atraidas por el polo B de la barra, se rechazan entre sí; lo mismo sucede con los polos b y b', que eran rechazados ambos por el polo B, y que por el contrario hay atraccion entre los polos a y b', a' y b de las agujas, que eran alternativamente rechazado el uno y atraido el otro por los polos de la barra; vemos pues que los polos marcados con letras iguales, y que segun nos ha hecho ver el iman A B, son de la misma naturaleza, se repelen; cuando por el contrario los que tienen letras distintas se atraen entre sí. Puede, por consiguiente, establecerse esta ley sobre las acciones recíprocas de dos imanes.

Los polos del mismo nombre se rechazan, y los de nombre contrario se atraen; ley enteramente idéntica á la que se estableció para los flúidos eléctricos, y que como verémos, no es la única analogía entre la electricidad y el magnetismo.

En efecto, el magnetismo obra por influencia sobre el hierro, de la misma manera que la electricidad sobre los cuerpos buenos conductores, y un pedazo de aquel metal adquiere la fuerza magnética mientras está sometido á la accion de un iman, y deja de poseerla en el momento que se sustrae á su influencia. La figura 64 representa la manera como puede demostrarse esa propiedad con un experimento: f es un cilindro de



Fig. 64.

hierro sostenido por un iman *a b*, al cual se acercan limaduras de hierro, que se adhieren en la forma que hemos dicho y permanecen suspendidas mientras el cilindro sigue en contacto con el iman; pero en el momento en que se separa, caé toda la limadura, y no se observa fuerza ninguna atractiva. Para convencerse de que el iman obra por influencia sobre el hierro *f*, convirtiéndolo en un cuerpo imantado, y que las limaduras no se sostienen por la atraccion directa que puede ejercer á distancia el iman *a b*, basta observar que si el cilindro *f* es de otra sustancia no magnética, las limaduras no se adhieren, y que los filamentos del cilindro *f* disminuyen de longitud á medida que se alejan de la extremidad; hay un punto en que no pueden adherirse, que es la línea neutra, y vuelven á verse por cima de este punto, pero en sentido contrario.

Si en vez de limaduras se presenta al cilindro *f* otro cilindro igual, y á este otro y otros, se adhieren formando una cadena magnética (figura 65), que se deshará en el momento que se separe el iman *a b* del primer cilindro. La accion de los imanes por influencia se verifica, no solo por el contacto, sino á distancia; basta, por ejemplo, para que un cilindro de hierro dulce se vuelva magnético, aproximarle al polo de un iman. Se puede poner en evidencia esta accion de una manera muy sencilla, suspendiendo dos pedacitos de alambre á dos hilos de seda, como las dos bolas de saúco de un electróscopo; se acerca á ellas el polo de una barra imantada, é inmediatamente se los ve separarse uno de otro por el efecto repulsivo que ejercen los polos del mismo nombre, que adquieren en sus extremidades superiores ó inferiores; y tan pronto como se aleja el iman, los dos alambres se acercan, recobrando su posicion vertical; prueba de que la imantacion ha cesado.

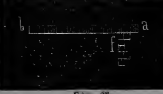


Fig. 65.

Conocidas estas tres propiedades fundamentales:

1.ª Que si un iman se divide en trozos, cada uno de estos es un nuevo iman;

2.ª Que en los imanes los polos del mismo nombre se repelen y los de nombre contrario se atraen;

3.ª Que los imanes obran por influencia sobre los cuerpos magnéticos;

Pasarémos á exponer la *teoría del magnetismo.*

Los antiguos, que no conocian del iman mas propiedad que la de atraer el hierro, no pudieron explicarla sino de la manera vaga con que siempre se han explicado los hechos cuando son únicos en su especie y se comprenden con dificultad. Thales y Anaxágoras decian que el iman estaba dotado de un alma capaz de atraer y de mover el hierro; Cornelio Gemma, en 1535, que habia entre el hierro y el iman hilos radiantes invisibles; otros suponian que habia simpatía, otros similitud, y algunos que era una diferencia de partes; explicaciones todas que no expresaban mas que el hecho. Epicuro suponia que los átomos del hierro convienen con los del iman, y que se enganchan. Plutarco imaginaba que habia al rededor del iman una emanacion capaz de producir el vacío, otros preferian suponer que habia vapores. Cardan pretendia que el hierro es atraido porque es frio, y el médico Costeo de Lody consideraba el hierro como el alimento del iman; comparando así los fenómenos magnéticos á cualquier otro fenómeno natural, se podian multiplicar las hipótesis, y se han multiplicado en efecto, hasta el infinito. Gilberto, de quien hemos hablado en el capítulo primero, fué bastante atrevido para condenar todas esas explicaciones, y al mismo tiempo bastante buen filósofo para no proponer ninguna en su lugar. Vino despues Descartes con sus torbellinos y su materia acanalada, y explicó el magnetismo como lo explicaba todo; se adoptó su sistema, y durante un siglo se explicaron los fenómenos magnéticos suponiendo que un torbellino de materia sutil pasa rápidamente sobre la tier-

ra, marchando del ecuador á los polos; la materia no lo detiene porque es porosa; pero las sustancias magnéticas, teniendo moléculas ramosas muy mezcladas y entretejidas, oponen al torbellino una resistencia mayor que los demás cuerpos; con otra multitud de ideas semejantes, en que como dice muy bien Pouillet, no se sabe qué admirar mas, si el que Descartes las haya inventado, ó que durante cien años hayan sido reproducidas y aprobadas por hombres eminentes como Euler y Daniell Bernouilli.

Œpinus sometió al cálculo todos los fenómenos magnéticos, y trató de mostrar que pueden deducirse de las leyes de la atraccion y de la repulsion, tomando así el verdadero método experimental, y levantando esa especie de velo con que el espíritu de sistema envuelve la realidad de las cosas.

El mismo Œpinus no habia admitido mas que un solo flúido magnético; pero despues de él, conservando sus principios, se supuso que habia dos flúidos diferentes, que recibieron el nombre, luego dirémos por qué, de *flúido austral* el uno, y *flúido boreal* el otro. La combinacion de estos dos flúidos constituia el estado natural, y su separacion el magnético; pero estos flúidos, una vez separados, se suponia que podian atravesar los cuerpos y repartirse en la masa, para producir los fenómenos que hemos hecho conocer. Veamos las consideraciones que debieron decidir á Coulomb á adoptar la teoría, que subsistiria aun, si los descubrimientos de que hablarémos en el próximo capítulo no hubiesen venido á modificarla considerablemente.

La sorprendente analogía que existe entre algunos de los fenómenos magnéticos y los fenómenos eléctricos, parecia conducir naturalmente á atribuir á aquellos, dos flúidos magnéticos dotados de propiedades del mismo género que las de los dos flúidos eléctricos, y á suponer que el *flúido magnético Norte* es la causa de los efectos que produce el *polo austral* de un iman; y el *flúido Sur*, la de los fenómenos que presenta el *polo boreal*. La analogía es, en nuestro concepto, ma-

yor que la que admiten algunos autores, como De La-Rive, que si bien la encuentra en el hecho de que los flúidos del mismo nombre se rechacen, y se atraigan los de nombre contrario, dice que no va mas léjos «porque la experiencia »ha demostrado que los flúidos eléctricos y los flúidos magné-»ticos no ejercen mútuamente influencia ninguna unos sobre »otros, y porque los flúidos eléctricos pueden manifestarse »en todos los cuerpos, mientras que los flúidos magnéticos »no son sensibles sino en un pequeño número de ellos». Este último argumento nos parece de poco valor desde el momento en que los experimentos de Le Baillif, Arago, Faraday y Becquerel han hecho ver que la accion de los imanes se ejerce sobre todos los cuerpos, y cuando el número de las sustancias magnéticas era tan limitada hace poco tiempo, y hasta se dudaba que esta propiedad la tuviera otro cuerpo mas que el hierro. En cuanto al primero de los argumentos, los hechos han venido á demostrar que no podia ser menos fundado, puesto que la influencia mútua de los flúidos eléctrico y magnético es tan grande y tan necesaria, digámoslo así, que ha venido á considerarse el uno como consecuencia del otro.

Pero volviendo á la teoría del magnetismo de Coulomb, este sábio no pudo menos de adoptar la idea de dos flúidos análogos por sus propiedades á los dos flúidos eléctricos; pero le fué imposible admitir que una vez separados, podian atravesar los cuerpos y repartirse en su masa, ocupando cada uno su polo. El hecho que hemos citado de la division de los imanes en trozos, que son nuevos imanes, hace suponer mas bien que los dos flúidos magnéticos se encuentran en cada una de las partículas de una sustancia magnética; que en el estado natural, estos dos flúidos se neutralizan uno á otro, y no hay ninguna accion entre ellos; pero que la imantacion los separa, sin que por eso salgan de la partícula que los contiene, soló que los flúidos de una especie se dirigen á un mismo lado de las moléculas, y los de la otra especie al

lado opuesto. Supóngase una fila de partículas, colocadas unas á continuacion de las otras (figura 66); si se pasa á lo largo de ella el polo austral de un iman, este polo descompondrá sucesivamente el magnetismo natural de cada una de las moléculas sobre que pasa, atraerá el flúido Sur á la extremidad del lado que mira hácia donde camina, y rechazará el flúido Norte á la extremidad opuesta. De esta manera cada partícula tiene un polo *Sur* en la direccion que sigue el iman, y un polo *Norte* en la direccion contraria, y se encontrará, por consiguiente, un polo Sur en el lado exterior de la última partícula tocada por el iman, y un polo Norte en el lado exterior de la primera. Estos dos polos serán los únicos que obren, porque los flúidos contrarios de las partículas intermedias se disimularán mútuamente. Y hemos dicho que se disimulan, y no que se destruyen, porque esto último no tiene lugar, como lo prueba el experimento ya citado de la barra imantada que se divide y subdivide, resultando siempre un iman en cada trozo; los dos polos que aparecen son debidos á los magnetismos contrarios que se encontraban en las extremidades opuestas de las partículas contiguas, separadas por la ruptura. Si hubieran estado neutralizados, y no disimulados, los flúidos no hubieran quedado en libertad por la simple separacion de las dos partículas.



Fig. 66.

La naturaleza de los dos polos que se manifiestan en los puntos de ruptura de los dos fragmentos, está perfectamente de acuerdo con la teoría, como lo pone en evidencia la figura.

Esta propiedad, que atribuimos á los dos flúidos, de poder disimularse sin neutralizarse, se prueba directamente con un experimento. Basta suspender un objeto cualquiera de hierro dulce á uno de los polos de una barra imantada, y acercar por encima el polo opuesto de otra barra semejante. En

el momento en que se verifica el contacto de los dos polos contrarios, y aun antes, el objeto de hierro se desprende, y no es posible hacerlo adherir de nuevo mientras sigan en contacto los polos opuestos de las dos barras; prueba evidente de que la accion del uno está disimulada por el otro, y en efecto, en cuanto se separan, recobra cada uno su energía.

Hay una causa que modifica sensiblemente la distribucion del magnetismo libre en los imanes, é influye en la situacion de los polos; esta causa es la accion mútua que ejercen entre sí los dos polos, y que recompone gran parte del magnetismo desarrollada por el iman exterior en el acto de la imantacion, sobre todo cuando los imanes son muy cortos; razon por la cual se observa en ellos menos flúido magnético libre que en los largos. En estos no es tan sensible la reaccion de un polo sobre el otro, pero se ejerce sobre las porciones intermedias, y desarrollando el magnetismo natural, produce los puntos consecuentes que se observan en las barras muy largas, cuando se sustraen á la accion del iman exterior.

El ejemplo que hemos puesto con la figura 66 para explicar la teoría del magnetismo, suponiendo una sola fila de partículas, no es sino un caso teórico; en realidad un iman es una reunion de filas semejantes, que serian paralelas entre sí en una barra perfectamente cilíndrica ó prismática, y entonces, prescindiendo de la reaccion mútua de que hemos hablado en el párrafo anterior, los polos se hallarian en los extremos de la barra, porque por ellos pasaria la resultante de todas las fuerzas emanadas de los polos situados en la extremidad de cada fila. Pero este resultado no se realiza nunca, porque á consecuencia de la estructura molecular del metal, las filas de partículas no son nunca perfectamente paralelas; y esta es otra de las causas que modifican la distribucion del magnetismo é influye en la situacion de los polos.

La teoría del magnetismo que acabamos de exponer supone implícitamente la existencia de una fuerza, que se ha llamado *fuerza coercitiva*, análoga á la fuerza aisladora que en la

electricidad mantiene separados los dos flúidos en los cuerpos cuyas moléculas están polarizadas. Puede, por lo tanto, definirse la fuerza coercitiva, diciendo que es la que mantiene separados los dos magnetismos en cada molécula, y les impide obedecer á su atraccion mútua.

Esta fuerza debe asimismo oponerse á su separacion, y ser por consiguiente la que dificulta la imantacion. En efecto, se observa que los cuerpos mas difíciles de imantar, como el acero templado, son los que conservan mejor la imantacion; cuando por el contrario, los que se imantan fácilmente, como el hierro dulce, pierden inmediatamente el magnetismo. Los primeros tienen una fuerza coercitiva considerable; en los segundos es casi nula. El calor destruye la fuerza coercitiva, y por esa razon los cuerpos imantados pierden su magnetismo cuando se los somete á una temperatura elevada. Las acciones mecánicas tienen sobre la fuerza coercitiva la misma influencia que el calor; aunque algunas veces se observa tambien el efecto contrario, pues por medio de la presion ó de la torsion, de la misma manera que por la oxidacion, el hierro dulce puede adquirir cierta fuerza coercitiva, aunque poco durable.

La accion de los imanes sobre los cuerpos, se creyó por mucho tiempo limitada al hierro y á sus compuestos, hasta que Coulomb observó, en 1802, que los imanes obran sobre todos los cuerpos de una manera mas ó menos marcada; los fenómenos observados por él se atribuyeron á la presencia de materias ferruginosas en los objetos sometidos á los experimentos; pero Le Baillif, y despues Becquerel, padre é hijo, han demostrado de una manera concluyente las observaciones de Coulomb.

La accion es unas veces atractiva y otras repulsiva, y esta última propiedad, que posee el bismuto en mas alto grado que ningun otro cuerpo, fué observada por Brugmans en 1778, y por Le Baillif en 1828; Becquerel asegura haber hecho en esa misma época experimentos que probaban la re-

pulsion de ciertos cuerpos cuando se presentan á un iman en ciertas condiciones; pero Faraday es el que ha vuelto á poner en evidencia la propiedad extraordinaria observada por Brugmans. En 1848 reconoció por medio de un poderoso electro-iman (iman mucho mas enérgico que los ordinarios, y que darémos á conocer mas adelante), que no solo el bismuto y varios metales, sino tambien el fósforo, el azufre, el agua, el alcohol y otra porcion de cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos son rechazados por los polos de un iman, y en vez de tomar la posicion *axial* de la figura 67, que toman los cuerpos magnéticos, se colocan en la posicion *ecuatorial* de la figura 68.

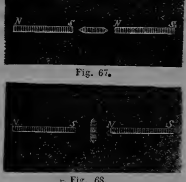


Fig. 67.

Fig. 68.

Faraday creyó que se debia admitir en la materia una nueva propiedad inversa de la que posee el hierro, y que se debian dividir los cuerpos en *magnéticos* ó capaces de ser atraidos por un iman, y en *diamagnéticos* ó rechazados por el flúido magnético libre. Esta opinion ha sido generalmente adoptada, y de ahí el nombre de *diamagnetismo*, con que se designa el conjunto de fenómenos que presentan las sustancias diamagnéticas.

M. Edmond Becquerel, sin embargo, explica los fenómenos diamagnéticos de una manera muy ingeniosa, suponiendo que todos los cuerpos son magnéticos, aunque en grado diferente, y que por consiguiente no hay mas que un género de accion entre los cuerpos y los imanes; pero que la repulsion ejercida sobre ciertas sustancias se debe á que estas se encuentran rodeadas por un medio indefinido, mas magnético que ellas mismas.

Los fenómenos del magnetismo que hemos presentado hasta ahora no son los únicos ni los mas sorprendentes que se

conocen. Tienen otra propiedad maravillosa los imanes, orígen de la aplicacion mas importante que se ha hecho tal vez en el curso de los siglos : *esta propiedad es la que posee una aguja de acero imantada, libremente suspendida por su centro, de dirigirse hácia los mismos puntos del espacio.*

Se pretende que los chinos y los árabes conocen esta propiedad desde tiempo inmemorial, pues segun documentos citados en la descripcion del imperio de China por Duhalde, se servian sus habitantes de la brújula para viajar por tierra, mas de mil años antes de Jesucristo.

La opinion general atribuye á Marco-Polo la gloria de haber traido á Europa la brújula, de vuelta de su viaje á la China, por los años de 1295; pero Becquerel, en su *Relacion histórica sobre la electricidad y el magnetismo*, asegura que Marco-Polo no ha hecho mencion de ello en la noticia que dió de sus viajes, y cita un manuscrito del siglo XII, atribuido á Guyot de Provins, en que se hace mencion de la brújula, conocida entonces con el nombre de *Marinera*. Tambien cita la historia hierosolimitana de Jacobo de Vitry, que vivia por los años de 1200, en que se habla de la aguja magnética, diciendo que era necesaria é indispensable á los viajeros en el mar.

Otros han supuesto que su invencion se debe á Flavio Gioja, natural de Amalfi, en el reino de Nápoles, que vivia á fines del siglo XIII. Resulta pues, que no es fácil remontarse al orígen de la brújula, y el nombre de su descubridor permanece cubierto con un velo impenetrable. Lo que sí hay de positivo es que Colon, Vasco de Gama y todos los navegantes del siglo XV, la usaron en sus largas expediciones.

El hecho fundamental en que estriba la construccion de la brújula es, como hemos dicho, el de que siempre que se suspende libremente una aguja imantada, sus polos, en vez de quedar en una posicion cualquiera, toman una direccion que se aproxima mas ó menos á la línea Norte Sur de la tierra. Si en vez de suspenderla de un hilo, se la deja sobre el agua,

sostenida por un corcho, toma inmediatamente la susodicha direccion, con la circunstancia de que no se aproxima ni al uno ni al otro polo de la tierra, sino que gira sobre sí misma; por consiguiente, la accion de los polos terrestres sobre los imanes no es atractiva, sino solo *directiva,* como si fuera efecto de una fuerza resultante de dos iguales y paralelas aplicadas á los extremos de la aguja y obrando en sentido contrario, la una hácia un polo, la otra hácia el otro de la tierra.

Como al hacer la observacion con diferentes agujas, y en distintos puntos del globo, se ha visto que todos los polos del mismo nombre se dirigen al Norte, y los de nombre contrario al Sur, se ha asimilado la tierra á un gran iman, cuyos polos están próximos á los polos terrestres, y cuya línea neutra coincide sensiblemente con el ecuador; y como sabemos que los flúidos de un mismo nombre se repelen y los de nombre contrario se atraen, se ha convenido en llamar *polo austral* al que mira al polo Norte de la tierra, y se supone contiene el *flúido austral;* y *polo boreal* de la aguja al que contiene el *flúido boreal,* y mira, por consiguiente, al austro ó Sur. No se llegó, sin embargo, á la conclusion que acabamos de exponer sino despues de mucho tiempo, pues al principio se suponia que la fuerza que atrae la aguja magnética al Norte, residia en una pequeña estrella que forma la cola de la *Osa mayor;* otros la colocaban mas léjos aun, y Gilberto fué el primero que á fines del siglo XVI indicó que debia buscarse en el mismo globo terrestre.

De la misma manera que se llama meridiano astronómico de un punto al plano que pasa por dicho punto y los polos de la tierra, así se llama *meridiano magnético* de un punto, al plano que pasa por él y por los dos polos de una aguja imantada móvil, en equilibrio sobre un eje vertical.

Al principió se creyó que el polo austral de una aguja imantada se dirigia siempre al Norte; pero no se tardó en observar lo contrario, y se cree que Colon en su primer viaje, verificado en 1492, fué el primero que observó que su direccion no es constante; aunque Thevenot asegura en sus viajes

haber visto una carta de Pedro Adzige, escrita en 1269, en que se decia positivamente que la aguja declinaba 5°, es decir, que el ángulo formado por el meridiano astronómico y el magnético, al cual se ha dado el nombre de *ángulo de declinacion*, era de 5°. Las observaciones mas antiguas que se sepa hayan sido hechas con alguna exactitud sobre la declinacion de la aguja magnética, datan de 1550 en Paris.

Gunter, profesor en el colegio de Gresham, fué el primero que observó en Lóndres que la declinacion de la aguja magnética varia tambien con el tiempo en el mismo punto; hizo este descubrimiento al tomar la inclinacion en Lóndres en 1622, pues halló que era de 6° 13′ al oriente, cuando Roberto Normann la habia fijado en 11° 15′, tambien al oriente, en 1580. En dicha época el Norte magnético de la tierra se hallaba al Este, puesto que el polo austral de la aguja en Paris se separaba 11° 30′ del meridiano astronómico hácia el Este; en 1663 el ángulo de declinacion era nulo, pues se confundian los dos meridianos magnético y astronómico; varió entonces al Oeste y fué aumentando hasta 1814, en que llegó á tener 22° 34′ O.; desde dicha época su marcha es decreciente, y hoy dia marca la brújula (diciembre de 1856) 19° 50′ O. (1).

Además de las variaciones que acabamos de mencionar, y que han recibido la denominacion de *seculares*, la aguja magnética experimenta otras. Las que dió á conocer Cassini en 1784 se llaman *anuales*, y tenian lugar en aquella época de la manera siguiente: del equinoccio de primavera al solsticio de verano, la aguja retrocedia hácia el Este, y avanzaba por el contrario hácia el Oeste en los nueve meses siguientes. El máximum de amplitud observado en el mismo año fué de veinte minutos. Las variaciones anuales no parecen constantes; es verdad que son muy poco conocidas hasta el dia.

Las que se llaman *diurnas*, descubiertas por Graham á fines

(1) Este dato, así como el de la inclinacion de la aguja magnética en la misma fecha, lo debemos á la amabilidad de M. Ivon de Villarceau, del observatorio astronómico de Paris.

de 1722, son muy débiles, y no pueden observarse sino con agujas muy largas é instrumentos muy sensibles; con ellos se ha visto que en nuestros climas la extremidad Norte de la aguja marcha todos los dias de Este á Oeste, desde la salida del sol hasta la una de la tarde, y vuelve retrocediendo á ocupar á las diez de la noche la misma posicion aproximadamente que ocupaba por la mañana. De noche no tiene apenas variaciones; pero vuelve á tomar, sin embargo, un ligero movimiento hácia el Oeste.

La declinacion de la aguja magnética experimenta alteraciones accidentales en sus variaciones diurnas por diferentes causas, entre otras, las auroras boreales, las erupciones volcánicas y la caida del rayo. Estas variaciones reciben el nombre de *perturbaciones*.

Para medir la declinacion magnética de un punto cualquiera, se ha inventado un instrumento (figura 69), llamado *brújula de declinacion*, que consiste en un círculo graduado, horizontal, en cuyo centro hay una punta de acero, sobre la cual gira, perfectamente equilibrada, una aguja de acero ó barra imantada; para disminuir el rozamiento, la aguja tiene en su centro una chapa de ágata ó de cualquier otro cuerpo duro, que es lo que descansa sobre el eje.

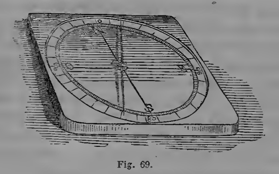


Fig. 69.

Conocido el meridiano astronómico, es muy fácil conocer con la brújula el meridiano magnético; basta colocar en la direccion del meridiano astronómico el diámetro del círculo

que pasa por la division 0°, ó sea la línea N. S., y la aguja marcará el número de grados de la declinacion oriental ú occidental. En la figura 69 la aguja señala una declinacion de 18° al Oeste.

Para hallar el meridiano astronómico cuando se conoce la declinacion, no hay mas que hacer girar la brújula en el sentido de la declinacion, hasta que la aguja indica en el círculo el número de grados correspondiente. La prolongacion del diámetro N. S. será el meridiano astronómico.

Las aplicaciones que acabamos de indicar no son exactas sino cuando el eje magnético, ó sea la línea que une los polos de la aguja, coincide con el eje de figura, es decir, con la recta que une los extremos. Pero como esto no sucede generalmente, hay que corregir el error, lo cual puede hacerse por el método de *inversion*, que consiste en dar vuelta á la aguja de manera, que la cara que miraba hácia abajo quede hácia arriba; de ese modo, tomando el término medio de los dos ángulos que señala la aguja, se tendrá la declinacion exacta. Basta la inspeccion de la figura 70 para convencerse de ello, sin que sea necesario que nos detengamos en dar mas explicaciones.



Fig. 70.

La brújula se ha aplicado tambien á la geodesia, como todo instrumento con el cual se pueden medir ángulos, y á ella se deben en gran parte los adelantos que se han hecho en el arte de labrar las minas; pero la mas grande de sus aplicaciones ha sido á la navegacion, que ha encontrado con su auxilio el medio de poderse dirigir en la inmensidad de los mares, con tanta certeza como puede un viajero hacerlo por tierra, donde tiene tantos medios de orientarse.

La *brújula marina*, llamada tambien *vitácora* ó *compás marino*, no difiere de la brújula ordinaria de declinacion sino en dos cosas: 1.ª en que la aguja está unida á un círculo de

talco ó cartulina sobre el cual está trazada una estrella ó rosa de treinta y dos rayos, llamada la rosa de los vientos, que tiene marcados sus ocho rumbos, los semirumbos y los cuartos; 2.ª en que se suspende de manera que pueda conservar la posicion horizontal á pesar del movimiento del buque. Este método de suspension, llamado de Cardan, consiste en sujetar la brújula á dos anillos concéntricos, que pueden moverse cada uno al rededor de un eje, y situados perpendicularmente el uno respecto del otro (figura 71). La caja en que está encerrada la brújula se fija en la popa de los buques y se orienta de manera, que un punto de mira trazado en los bordes de la caja coincide con el centro de la vitácora en la direccion de la quilla del buque. Sabido el rumbo que debe seguirse, el piloto no tiene mas que dar vuelta al timon, hasta que el rayo correspondiente de la estrella de los vientos coincida con la línea de prueba. Hay que tener en cuenta sin embargo, las variaciones de la declinacion en los diferentes puntos del globo, y hacer las correcciones necesarias.

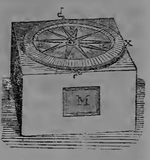


Fig. 71.

En 1576, Roberto Normann, constructor de instrumentos de física en Lóndres, descubrió que la aguja imantada experimentaba otra especie de variacion. Muchas veces se habia notado que la aguja perdia su horizontalidad al acercarse hácia el Norte, y que su polo austral se inclinaba por bajo del plano horizontal que pasa por el punto de suspension. Como no se sabia á qué causa atribuirlo, se suponia que la aguja no estaba suspendida por su centro de gravedad. Roberto Normann le aplicó un contrapeso para restablecer la horizontalidad; pero notó que era preciso cambiarlo de un punto á otro, y esta circunstancia le condujo á descubrir la *inclinacion magnética*. No se tardó en ver que para observar bien este fenómeno era preciso que la aguja pudiera moverse libre-

mente en el plano del meridiano magnético, lo cual se consigue suspendiéndola por su centro á un eje perpendicular á este plano. Cuando la aguja no está imantada, permanece en una direccion horizontal; pero en el momento en que se le comunica la propiedad magnética, se desvia de la horizontal cierto número de grados; su polo austral en nuestro hemisferio se inclina constantemente hácia la tierra, en direccion del polo boreal de esta; en el hemisferio opuesto, el polo boreal de la aguja es el que se inclina á su vez ante el polo austral del globo.

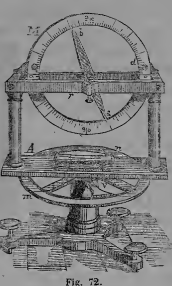


Fig. 72.

Cuando el plano vertical en que se mueve la aguja coincide con el meridiano magnético, se llama *inclinacion* al ángulo que forma con el horizonte, y para medirlo se usa el instrumento representado en la figura 72, llamado *brújula de inclinacion*. Se compone de un círculo horizontal *m*, graduado y apoyado en tres tornillos; sobre este círculo hay una plancha *A* que se mueve al rededor de un eje vertical y que por medio de dos columnas sostiene un segundo círculo graduado *M*; un marco sostiene la aguja *a b*, cuyos polos recorren la circunferencia graduada, en donde se ve la inclinacion. El

nivel *u* sirve para colocar horizontalmente el diámetro 0 0, por medio de los tres tornillos, antes de hacer la observacion.

Conocida la declinacion magnética del punto en que se hace la observacion, basta colocar el limbo vertical en esa direccion y leer el número que marca la aguja. Si no se quiere determinar de antemano la declinacion con otra brújula, basta dar vuelta al instrumento hasta que la aguja esté completamente vertical; entonces no hay mas que hacer girar 90° al limbo vertical y se encontrará en la direccion del meridiano magnético. En efecto, la aguja magnética, hallándose solicitada por dos fuerzas, contenidas ambas en el plano del meridiano magnético, si no puede obedecer á la horizontal porque se lo impide el eje de suspension, tiene que venir á ponerse verticalmente, solicitada por la otra fuerza, que es vertical y obra en un plano perpendicular á aquel en que se mueve la aguja. Se ve pues que á medida que el limbo vertical vaya formando con el meridiano magnético un ángulo menor, la aguja se inclinará menos, puesto que la accion de la fuerza horizontal va aumentando. De aquí un medio sencillo para buscar por tanteos la inclinacion de un punto, que será siempre el ángulo menor, señalado por la aguja.

Se ha llamado *ecuador magnético* á la curva que pasa por todos los puntos en que la inclinacion es nula, y *polos magnéticos* los puntos en que la inclinacion es de 90°.

La inclinacion no varia solo de un punto á otro, sino tambien de una época á otra en el mismo punto. En 1671 era de 75° en Paris; en 1798, época en que empezaron á hacerse con mas exactitud las observaciones, era de 69° 51′, y desde 1835, en que marcaba la brújula 67° 24′, siguió disminuyendo, segun parece, con regularidad 3′ al año; era en diciembre de 1853, de 66° 28′, y por consiguiente, en diciembre de 56 debia ser de 66° 22′; pero segun una nota que nos ha facilitado M. Ivon de Villarceau, la inclinacion media en dicho mes ha sido de 66° 19′ en el observatorio de Paris.

Puede haber en las observaciones de la inclinacion dos cau-

sas de error, que es menester tener presente para corregirlas : 1.° el eje magnético de la aguja puede no coincidir con el eje de figura, y producir errores que indicamos, así como el medio de compensarlos, al hablar de la declinacion magnética; 2.° el centro de gravedad de la aguja puede no coincidir con el eje de suspension, y dar por consiguiente un ángulo demasiado grande ó demasiado pequeño. Este error se corrige cambiando los polos de la aguja, lo cual se consigue dándole fricciones con los polos contrarios de dos barras imantadas, de manera que cada polo de la aguja se frota por un polo del mismo nombre. La direccion de la aguja es entonces enteramente opuesta, y si su centro de gravedad quedaba antes sobre el punto de suspension, quedará despues debajo, y el ángulo de inclinacion, que era demasiado pequeño, será demasiado grande; basta, pues, tomar el término medio de los dos resultados, para tener el valor exacto del ángulo de inclinacion.

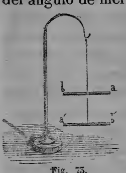


Fig. 73.

Se llama *aguja astática* la que se sustrae, despues de estar imantada, á la accion magnética de la tierra; y *sistema astático* es la reunion de dos agujas de la misma fuerza, colocadas paralelamente y con los polos encontrados, como lo manifiesta la figura 73. Mas adelante se verá una aplicacion importante de este sistema.

Durante largo tiempo no tuvieron los físicos mas que un medio de determinar la accion de las fuerzas magnéticas. Se ponia en contacto con una de las extremidades del iman que se queria experimentar, un pedazo de hierro dulce, que se cargaba despues con pesas hasta que se desprendia, y el peso absoluto de esta carga determinaba la fuerza del iman. Entre otras infinitas causas de error, tiene este procedimiento la que es efecto de una propiedad singular de los imanes, que no se ha explicado todavía : la de *debilitarse* cuando se *sobrecargan*;

es decir, que si un iman puede sostener un peso de 20 kilógramos con bastante facilidad; si lenta y gradualmente, de dia en dia por ejemplo, se añade un peso pequeño, podrá aumentarse la carga hasta 30 ó mas kilógramos; pero desde el momento en que se rompe el contacto y se desprende la carga por exceso de peso, el iman no vuelve á admitirla, ó no *muerde*, como se dice técnicamente, y es preciso empezar por hacerle soportar una carga menor que los 20 kilógramos que antes sostenia con facilidad; sin embargo, con ciertas precauciones y con el tiempo, se consigue *fortalecerlo* de nuevo y hacerle recuperar su primitivo vigor. Júzguese si esta propiedad basta para condenar el antiguo procedimiento empleado para medir la accion de las fuerzas magnéticas, y si era posible obtener el menor asomo de exactitud en las observaciones.

Coulomb propuso, en 1789, dos métodos por medio de los cuales puede encontrarse con precision la intensidad de las fuerzas magnéticas : el de la balanza de torsion y el de las oscilaciones.

El primero, análogo al que empleó en 1785 para determinar las leyes sobre las atracciones y repulsiones eléctricas, está fundado en el mismo principio, y se valió del mismo aparato, que de intento no describimos en el capítulo primero, proponiéndonos hacerlo en este.

La balanza de torsion consiste en una urna de vidrio (figura 74), cuya tapa, tambien de vidrio, tiene cerca de uno de los bordes una abertura, destinada á introducir un iman *a b*. En el centro de la tapa hay una segunda abertura, á la cual se adapta un tubo de vidrio, que encaja y puede girar en los bordes del orificio. Este tubo tiene en la parte superior un *micrómetro*, cuya pieza *D*, fija, está dividida en 360°, y la móvil *E* tiene una *señal* para indicar en la fija los grados que ha girado. En el disco *E* hay dos montantes atravesados por un eje, en el cual se enrolla un hilo de plata muy fino que sostiene una aguja imantada *A B*; y por fin, en el fondo de la

urna hay un círculo dividido, que sirve para medir los movimientos de la aguja imantada *A B*, y por consiguiente la torsion del hilo de plata.

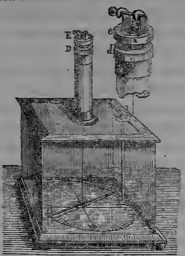


Fig. 74.

Dada la descripcion del aparato, dirémos la manera de usarlo. La señal *a* del disco móvil se pone en el *cero* de la division del disco fijo *D*, y se coloca la urna de manera que el centro y el *cero* del círculo inferior se encuentren en la direccion del meridiano magnético. Se retira la aguja imantada *A B* de la especie de estribo en que termina el hilo de plata, se sustituye con otra aguja de un metal cualquiera, y si el hilo no tiene torsion, esta aguja indicará el *cero* del círculo inferior *A B;* en el caso contrario, se da vueltas al tubo de vidrio, y con él giran las dos piezas del micrómetro *E* y *D* con el hilo y la aguja, hasta ponerlo en la direccion indicada; se pone entonces otra vez la aguja imantada *A B*, y si marca el cero hay seguridad de que está en el meridiano magnético y de que el hilo no tiene torsion.

Antes de introducir el iman *a b* que quiere probarse, es menester conocer la accion directriz de la tierra sobre la aguja *A B*, cuando esta no se halla en el meridiano magnético, y para eso se da vueltas á la pieza *E* del micrómetro,

hasta que la aguja se separa un grado del meridiano, y entonces la *señal* ó punto *a* marcará en el círculo *D* del micrómetro el número de grados de torsion que ha sido preciso dar al hilo para vencer la accion directriz de la tierra, mas uno que ha girado tambien la aguja.

Conocida la accion directriz de la tierra, se introduce el iman *a b*, de manera que queden en presencia los polos del mismo nombre, y el *A* de la aguja móvil es rechazado cierto número de grados, que miden el ángulo de desvío. Se da despues vueltas á la pieza *E* del micrómetro para aproximar la aguja *A B* al iman vertical *a b*, y en cada posicion que se quiere observar, se miden los ángulos y las fuerzas repulsivas.

Por este método demostró Coulomb, en 1789, la siguiente ley : *Las atracciones y repulsiones magnéticas se ejercen en razon inversa del cuadrado de la distancia.*

El método de las oscilaciones consiste en hacer oscilar una aguja imantada durante tiempos iguales, bajo la influencia, primero de la tierra solamente, y despues bajo la de la misma tierra, combinada con la del polo atractivo de un iman colocado sucesivamente á dos distancias desiguales. Del número de oscilaciones en cada uno de los tres casos, se deduce por medio del cálculo la ley de Coulomb.

Por métodos análogos á este, puesto que se reducen á hacer oscilar una aguja de inclinacion ó de declinacion durante un tiempo dado, en épocas y lugares diferentes, han determinado los físicos la intensidad magnética del globo en varios puntos. Dichas observaciones han conducido á los siguientes resultados :

1.° La intensidad del magnetismo terrestre aumenta á medida que se aleja el observador del ecuador magnético, donde parece ser vez y media menor que en los polos. La línea sin inclinacion es, pues, al mismo tiempo la línea de menor intensidad.

2.° La intensidad magnética del globo decrece á medida

que la observacion se hace á mayor altura en la atmósfera, y esta disminucion sigue probablemente la ley de la razon inversa del cuadrado de la distancia.

3.° La intensidad magnética de la tierra varia con las horas del dia; llega á su mínimum entre las diez y once de la mañana, y á su máximum entre las cuatro y las cinco de la tarde.

4.° La intensidad magnética presenta variaciones irregulares; y como la declinacion y la inclinacion, experimenta perturbaciones accidentales por la influencia de las auroras boreales.

Se ha dado el nombre de *líneas isodinámicas* á las líneas que en la superficie del globo presentan en todos sus puntos la misma intensidad magnética; *líneas isógonas,* á las que presentan en todas partes la misma declinacion, y *líneas isoclinas* á las de igual inclinacion.

DE LAS CAUSAS QUE PUEDEN DESARROLLAR EL MAGNETISMO EN LOS CUERPOS.

Varias razones nos han movido á no tratar hasta este momento de las causas que pueden desarrollar el magnetismo en los cuerpos, ó sea de la *imantacion.* Siendo, por decirlo así, un capítulo aparte en la série de hechos que constituyen el magnetismo, no siendo absolutamente necesario para comprender los fenómenos de los cuales se deduce su teoría, segun hemos visto, los físicos no han seguido regla fija ninguna en el lugar que debian dar á esta materia, que encontramos en algunas obras al principio del libro, que se intercala en otras, ya antes, ya despues de la teoría del magnetismo, y que dejan algunos, entre ellos De La-Rive, para cerrar el capítulo del magnetismo propiamente dicho. Nosotros, de acuerdo con este último sistema, creemos que la imantacion es el complemento del estudio de los fenómenos magnéticos, y que solo despues de conocer estos y la explicacion que de ellos se ha creido poder hacer, es cuando con-

viene tratar de hechos envueltos aun en la mayor oscuridad, y de que es difícil darse cuenta. Otra razon importantísima nos ha decidido á ello, y es la de que una causa entre las conocidas de la imantacion es tan interesante, tan nueva, y ha tomado su estudio proporciones tan vastas, que es indispensable consagrarle un capítulo diferente, y podemos hacerlo así sin alterar el órden lógico, que es tan conveniente guardar en todas ocasiones. Con la disposicion que adoptamos, tendrá la imantacion por la electricidad toda la amplitud que debe tener para el objeto que nos proponemos, y no solo no se habrá separado de las demás causas que desarrollan el magnetismo en los cuerpos, sino que conservará el lugar que le corresponde.

Tres son hasta el dia los medios conocidos para producir la imantacion de los cuerpos: la influencia de otros imanes, el magnetismo terrestre y la electricidad; pues si bien se ha creido que existian algunas otras, como el calor, la luz, la torsion, la traccion y la rotacion, mas adelante irémos viendo que ó bien son casos particulares de algunas de las tres enunciadas, ó son causas secundarias, que no hacen mas que auxiliar la influencia de la principal. Nosotros, partidarios de la sencillez que se observa en todas las leyes de la naturaleza, y fundados en la teoría misma que para el magnetismo han hecho adoptar los fenómenos del electro-magnetismo, que verémos despues, nos arriesgamos á decir, como lo hicimos en el capítulo primero, al hablar de la electricidad, que estamos persuadidos de que la ciencia no tardará en poner de manifiesto que la causa de la imantacion es tal vez una sola: la induccion eléctrica.

Imantacion por la influencia de los imanes.

El procedimiento de imantacion mas sencillo consiste en aplicar los polos de un iman á la extremidad de la aguja ó barra que se quiere imantar. Las primeras partículas en contacto con ese polo, tiene su magnetismo natural descompues-

to; el flúido austral se dirige al lado mas inmediato al polo Norte del iman, y el flúido boreal al lado mas distante; este último flúido descompone á su vez el magnetismo natural de las partículas siguientes, y así sucesivamente hasta la extremidad mas lejana de la barra, cuyas moléculas poseen de esa manera, exteriormente, un magnetismo semejante al del polo que imanta.

Tal es la teoría del procedimiento, pero el fenómeno no pasa siempre de una manera tan sencilla. El Dr. Robison, físico escocés, ha observado que cuando en vez de hierro dulce se imanta el acero por este medio, no adquiere el magnetismo sino gradual y progresivamente, y que la graduacion es tanto mas sensible, cuanto mas fuerte sea el temple del acero que se emplea. Así es que cuando se aplica el polo Norte de un iman á una barra de acero duro, el extremo de esta que se pone en contacto adquiere inmediatamente un polo Sur, y el otro no parece afectado. Se observa entonces un polo Norte formado á poca distancia del polo Sur, y despues de este, un segundo polo Sur muy débil. Estos polos avanzan gradualmente á lo largo de la barra, aparece en la extremidad mas lejana del contacto un débil polo Sur, y no es sino mucho tiempo despues, y esto raras veces, cuando hay en ella un polo Norte simple y enérgico.

Para imantar fuertemente por el simple contacto, cuando la fuerza coercitiva es considerable, es preciso colocar la barra entre dos polos contrarios; la imantacion se verifica entonces á la vez en dos sentidos, que concurren al mismo resultado final; la operacion termina antes y es mas perfecta.

Otro procedimiento mas enérgico que el precedente, y mas generalmente usado, consiste en pasar la pieza de acero que se quiere imantar á lo largo del polo de un iman. La fuerza coercitiva se vence con mas facilidad en esta operacion, en que cada partícula de la superficie sufre á la vez la influencia directa del magnetismo del polo. Es necesario repetir la friccion varias veces, sobre todo si la fuerza coercitiva es

grande; pero conviene tener cuidado de que se verifique siempre en el mismo sentido. El modo de obrar de esta frotacion reiterada no es fácil de comprender, dice De La-Rive; y en efecto, si despues de haber imantado una aguja con una primera operacion, se vuelve á colocar el polo del iman en la extremidad donde fué tocada la primera partícula, se empieza por destruir el magnetismo que se habia dado antes de devolvérselo con una segunda friccion. Cada molécula frotada se encuentra, pues, imantada primero en un sentido contrario á aquel en que lo es mas tarde. ¿Por qué la segunda friccion dada en el mismo sentido aumenta el efecto de la primera, la tercera el de la segunda, y así hasta cierto límite? No parece sino que el movimiento impreso en sentidos alternativamente contrarios á los dos magnetismos de las partículas, favorece su separacion, y que la fuerza coercitiva cede con mas facilidad despues de haber sido ya varias veces superada que cuando no lo ha sido aun. Hay como una especie de vibracion necesaria á la imantacion, y cuya intensidad aumenta con el número de las fricciones. Este método, conocido con el nombre de *método de la simple friccion*, tiene un poder muy débil de imantacion y desarrolla con frecuencia *puntos consecuentes*.

Cuando se trata de imantar fuertemente una aguja de brújula ú hojas de un grueso que no exceda de 4 ó 5 milímetros, es preciso disponer en las extremidades de la aguja que se va á imantar dos poderosos imanes, que obren por sus polos opuestos sobre los dos extremos de la aguja. Esta se coloca sobre los imanes de manera que exceda de 20 á 30 milímetros por cada una de sus extremidades (figura 75). Se toman otras dos barras imantadas, y teniéndolas en una mano cada una, se toca con sus polos opuestos el medio de la aguja, despues dándoles una inclinacion de 25°

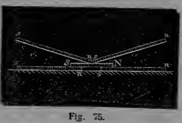


Fig. 75.

á 30°, se hacen resbalar simultáneamente con la misma inclinacion hácia ambas extremidades de la aguja. Se vuelven á colocar en medio para repetir la operacion, hasta que la imantacion sea bastante fuerte. Es preciso tener cuidado de que el polo de cada barra que toca la aguja, sea el mismo que el del iman fijo, hácia el cual se le hace resbalar, á fin de que los dos efectos se favorezcan mútuamente. Este método, llamado de la *friccion separada*, fué adoptado por Knight en Inglaterra, en 1745, y perfeccionado despues por Duhamel, que fué quien tuvo la idea de colocar la aguja sobre los dos imanes fijos.

Este procedimiento es el que da una imantacion mas regular; pero no basta cuando las hojas que se quieren imantar tienen mucho espesor.

Para ese caso hay que emplear el *método de la doble friccion*, debido á Mitchel, que solo difiere del anterior en que los dos imanes que sirven para la imantacion se pasan juntos, y no separadamente, desde el centro de la barra á las extremidades, conservando los polos contrarios en contacto con la barra; pero separados entre sí por una pieza pequeña de madera (figura 76), resbalan juntos desde el centro á un extremo, y de este al otro, y así sucesivamente, teniendo cuidado de terminar en el centro para que cada mitad de la barra reciba el mismo número de fricciones.

Œpinus perfeccionó este método en 1758, colocando, como en el de la friccion separada, dos fuertes barras imantadas debajo de la que se quiere imantar, é inclinando los imanes móviles de 15° á 20° (figura 76).

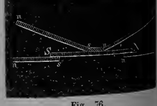


Fig. 76.

De resultas de que el procedimiento de la doble friccion (que, como hemos dicho, sirve para grandes barras) es demasiado fuerte, determina una reaccion de los polos sobre las partes inmediatas del iman, y tiene muchas veces el incon-

veniente de producir puntos consecuentes y de dar polos de una fuerza desigual.

Canton, Antheaume, Savery y otros han propuesto tambien nuevos métodos y mejoras, que seria muy largo enumerar; solo dirémos dos palabras acerca de los trabajos del sábio Knight, que por procedimientos que no se conocen, que tal vez consistian solo en el esmero con que trabajaba, conseguia dar á sus imanes un poder extraordinario, que los ha hecho célebres; entre otros se cita un iman que posee la Sociedad Real de Lóndres, compuesto de 450 barras, de 15 pulgadas cada una, cuya armadura exige 100 libras para desprenderse de los polos. El Dr. Knight habia conseguido tambien hacer pastas magnéticas susceptibles de adquirir un magnetismo mas fuerte que el acero. Segun Ingenhouze, la composicion que habia dado mejores resultados era una mezcla de polvo de iman natural, polvo de carbon muy fino y aceite de linaza.

Este es el lugar de observar que cualquiera que sea el procedimiento que se emplee para la imantacion, de los que llevamos descritos, los imanes no pierden en ella nada de su fuerza, lo cual hace ver que los flúidos magnéticos no pasan de una barra á otra; pero existen las siguientes notables relaciones: 1.ª la cantidad de magnetismo que adquiere un cuerpo va siempre creciendo con la fuerza de las barras que sirven para imantarlo; pero la cantidad de magnetismo que conserva es susceptible de cierto *límite*, que se llama *punto de saturacion;* 2.ª no se puede aumentar indefinidamente la intensidad magnética de una aguja, dándole un gran número de fricciones con barras débiles; pasado cierto témino, las nuevas fricciones no aumentan nada; 3.ª una aguja imantada con imanes poderosos no puede sin inconveniente reimantarse con otros de menor intensidad; porque estos, aun cuando obren en el mismo sentido que los primeros, le hacen perder poco á poco su magnetismo, y la dejan en el grado de intensidad que ellos hubieran podido

darle. Este efecto notable es una nueva prueba de que los imanes que resbalan, magnetizan determinando en cada molécula descomposiciones y recomposiciones sucesivas de los dos flúidos.

Imantacion por la accion magnética de la tierra.

Ejerciendo la tierra sobre las sustancias magnéticas una accion comparable á la que ejercen los imanes, no sorprenderá que el magnetismo terrestre tienda constantemente á separar los dos flúidos que se hallan neutralizados en el hierro dulce y en el acero; pero siendo muy grande la fuerza coercitiva en este último cuerpo, la accion de la tierra no es bastante para producir la imantacion. No sucede lo mismo con una barra de hierro dulce, sobre todo si se coloca paralelamente á la inclinacion en el meridiano magnético; los dos flúidos se separan entonces, el austral se dirige al Norte, y el boreal al Sur; sin embargo, esta imantacion es inestable, puesto que si se vuelve la barra, los polos se invierten inmediatamente, efecto de la poca fuerza coercitiva del hierro dulce, que es casi inapreciable; pero puede hacerse sensible, y esto lo descubrió Gilberto en 1600, si mientras está sometido á la influencia de la tierra y en la direccion indicada, se golpea con un martillo, ó si se le hace sufrir una torsion, la accion de la lima, de la oxidacion, ó cualquiera otra mecánica ó química; pues cada una de ellas parece ser mas ó menos á propósito para desenvolver la fuerza coercitiva y fijar por consiguiente los flúidos descompuestos. Así se explica la formacion de los imanes naturales y la imantacion que se observa frecuentemente en los objetos de acero y de hierro muy antiguos.

Œpinus habia observado que se podia imantar fuertemente una aguja ó una barra de acero, calentándola hasta el rojo y dejándola enfriar entre los dos polos contrarios de fuertes barras imantadas. Pero este hecho, que á primera vista pa-

dria hacer creer que el calor es una de las causas de imantacion, proviene de que destruye, por el contrario, la fuerza coercitiva; y un iman, por fuerte que fuera, perderia todo su magnetismo si no se hallara sometido á la accion de los flúidos de los dos polos opuestos, que hacen aquí el efecto de los polos de la tierra sobre un cuerpo sin fuerza coercitiva, como el hierro dulce.

La luz no parece mas eficaz que el calor para determinar una separacion de los flúidos magnéticos; pues si bien es cierto que algunos observadores, y particularmente Morichini, han creido poder reconocer un poder magnetizante en los rayos solares, los experimentos de Pouillet, Reiss y Mozer han dado resultados contrarios.

Al describir los procedimientos de imantacion hemos dado, por decirlo así, los medios de fabricar ó componer imanes; es preciso indicar ahora cómo se puede conservar y aumentar su potencia.

Las agujas, las láminas y las barras, son imanes de una sola pieza, que una vez imantadas hasta saturacion, conservan muy bien su magnetismo; de estas, las dos últimas están sin embargo expuestas en ciertas circunstancias á experimentar una recomposicion parcial de los flúidos por la accion del magnetismo terrestre, como sucederia en nuestros climas si se mantuviese verticalmente una barra con el polo boreal hácia abajo, y en esa posicion recibiese algunos martillazos. Para impedir estas recomposiciones se emplean las que se llaman *armaduras*.

Reciben este nombre unas piezas de hierro dulce que se ponen en contacto con los imanes para mantener su actividad por la descomposicion magnética que experimentan. Para armar las barras se ponen generalmente dos en una misma caja, dispuestas paralelamente y con los polos encontrados; en los extremos se colocan dos prismas cuadrangulares de hierro dulce, que completan el paralelógramo, y quedan por ello convertidas en dos imanes, que obran sobre

las barras y mantienen separados los flúidos descompuestos (figura 77).

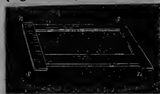


Fig. 77.

Las agujas montadas sobre un eje, no necesitan armadura, porque giran para obedecer á la accion de la tierra, y esta fuerza les sirve de armadura.

Se llama *haz* ó *manojo magnético* á un conjunto de barras ú hojas imantadas, reunidas paralelamente, con todos los polos de igual nombre al mismo lado. Unas veces se les da la forma de herradura (figura 78), en cuyo caso basta un solo prisma de hierro dulce para reunir los dos polos, y tiene además la ventaja, cuando se quiere soportar un peso, de que se utiliza la accion de los dos polos. Otras veces el haz magnético tiene la forma rectilínea. El de la figura 79 se compone de doce láminas rectangulares, dispuestas en tres capas de cuatro láminas cada una. En una y en otra clase de manojos magnéticos las láminas se templan y se imantan

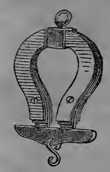


Fig. 78.

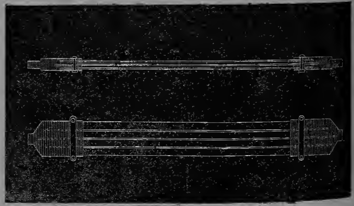


Fig. 79.

separadamente, despues se sobreponen y se reunen con tornillos ó virolas. Se observa en la figura 79 que las láminas

no son iguales, sino que la de enmedio es mas larga, y á medida que se van sobreponiendo otras, se van retirando un poco; esto se hace con objeto de aumentar la fuerza de los imanes, segun observaciones hechas por Coulomb, de las cuales resulta tambien que la fuerza de un manojo magnético no es igual á la suma de las fuerzas de cada barra, lo cual proviene de las acciones repulsivas que ejercen los polos inmediatos unos sobre otros. Los resultados obtenidos por Coulomb han guiado á Nobili para hacer nuevas observaciones y experimentos muy interesantes, que no nos es posible describir.

Las armaduras de los imanes naturales están representadas en la figura 80: las partes $l\,l'$ se llaman las *alas* de la armadura, y las partes $p\,p'$ los *piés*. Se da á las alas una anchura igual á la del iman, y un espesor de tres á cuatro milímetros; las dimensiones de los piés dependen de la fuerza del iman, y solo por medio de ensayos puede determinarse la forma y el tamaño convenientes. Los imanes naturales son muy débiles cuando no están armados, pero con armaduras aumenta notablemente su fuerza.

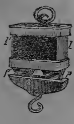


Fig. 80.

CAPITULO IV.

ELECTRO-MAGNETISMO.—ELECTRO-DINAMICA.

La sorprendente analogía que hemos dado á conocer en los capítulos que preceden, entre algunos de los fenómenos de la electricidad y del magnetismo, no podia menos de llamar la atencion de los sábios dedicados al estudio de las ciencias físicas. Si bien los de la atraccion y repulsion, que obligaron á admitir en la teoría del magnetismo explicaciones enteramente iguales á las de la electricidad, parecian conducir á suponerles un orígen comun, otros, como el de la accion directriz especial en los imanes (pág. 206) y la conductibilidad eléctrica, que no se presenta igual en el magnetismo, obligaron á mantener la suposicion de los dos flúidos eléctrico y magnético, diferentes uno de otro.

En vano trataron Franklin, Beccaria, Wilson, Cavallo y otros de buscar relaciones íntimas para asimilar ambos flúidos; con la descarga de una botella de Leyden ó de grandes baterías, consiguieron modificar el magnetismo de agujas muy pequeñas; pero no habiendo obtenido ningun fenómeno regular, se contentaron con admitir que el choque eléctrico obraba mecánicamente como el choque de un martillo. No fueron mas felices los ensayos que Hachette y Desormes hicieron en 1805 para reconocer la direccion que tomaria, en virtud de la accion terrestre, una pila voltáica horizontal, aislada y libremente suspendida. De suerte que la empresa parecia definitivamente abandonada, y desechadas completamente las ideas de Ritter, que se habia aventurado á de-

cir, fundado en algunos de sus experimentos, no siempre felices, que la tierra tenia polos eléctricos, si bien les asignó una posicion contraria á la manera con que el globo terrestre obra realmente sobre los conductores eléctricos.

Un hombre, sin embargo, permanecia fiel al legado que dejó Franklin, de buscar la identidad entre el flúido magnético y el eléctrico, y las notables conjeturas que emitió en 1807, en una obra intitulada *Identidad de las fuerzas químicas y eléctricas*, se vieron justificadas por uno de los descubrimientos mas grandes, que hará figurar eternamente el nombre de Oersted al lado de los de Franklin, Galvani y Volta. El sábio dinamarqués, despues de enumerar en la citada obra las semejanzas y diferencias de la electricidad y del magnetismo, hacia resaltar las que existen entre la electricidad por frotacion y la electricidad de corriente continua, deduciendo de ello que la electricidad que se encuentra en estados tan diferentes en el conductor de la máquina eléctrica y en el de la pila, podia hallarse en otro nuevo estado en los imanes. «La forma de actividad galvánica, escribia él mismo, ocupa un lugar medio entre la forma de actividad eléctrica y la forma de actividad magnética. Las fuerzas están en ella mas ocultas, mas latentes que en la electricidad, y menos latentes que en el magnetismo; es pues verosímil que las fuerzas eléctricas ejerzan una influencia menor sobre las fuerzas magnéticas que sobre las galvánicas.» Llama despues al magnetismo «el estado eléctrico que conviene á los imanes», y termina con estas memorables palabras: *Seria preciso ver si la electricidad en su estado mas latente* (es decir, bajo la forma de corriente galvánica) *no tiene ninguna accion sobre el iman como tal*, es decir, considerado como un estado latente de la electricidad.

Esta frase profética, parecida á la que dió orígen á los pararayos, tuvo otra semejanza con esta: la de no haber sido clara y fecunda sino para el mismo que la habia emitido. Trece años permaneció la ciencia eléctrica en un estado estaciona-

rio, como al fin del primer período, en que Galvani hizo su descubrimiento, y como si esperase á que otro no menos nuevo y fundamental viniese á darle impulso. Esta gloria, decimos, le cupo al mismo Oersted, que guiado por las ideas teóricas que habia emitido, demostró experimentalmente que la electricidad obraba sobre el magnetismo de una manera segura y permanente.

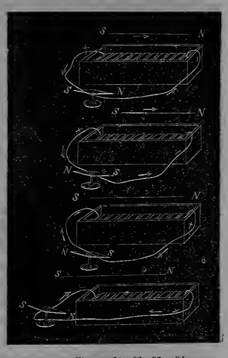
Siguiendo sus conjeturas, trató de verificar si la corriente voltáica, bajo su forma mas latente, no obraria sobre un iman, considerado á su vez como una electricidad mas oscuramente latente, por decirlo así. Pero ¿cuándo se presenta la electricidad voltáica en la forma mas latente? ¿Cuándo existen las corrientes en la pila, sin manifestarse, sin producir resultado mecánico ó químico, sin que presenten fenómeno ninguno perceptible? Cuando los dos polos de la pila están reunidos por un cuerpo suficientemente conductor, por un hilo metálico bastante grueso, en una palabra, cuando el circúito está cerrado; circunstancia que no tuvieron presente Hachette ni Desormes al ejecutar sus experimentos, y que ningun otro físico tomó en consideracion; pues á principios de 1820 anunció Oersted en una obra latina, y se supo por primera vez en el mundo científico, que *una aguja imantada, colocada á poca distancia de un hilo metálico, que reune los dos polos de una pila, se pone en movimiento, oscila durante algun tiempo, y se detiene en una posicion fija, diferente de su posicion ordinaria.*

Descubierto el hecho, y seguro de su infalibilidad, los fenómenos fundamentales se presentaron por sí mismos á Oersted, y bien pronto en manos de Ampere y de Faraday tomaron un desarrollo tal, que constituyeron la ciencia llamada *electro-magnetismo*, que trata de las acciones mútuas que ejercen entre sí los imanes y las corrientes voltáicas; y jamás se ha visto enriquecer una ciencia con mayor número de principios en tan corto período.

Para verificar el experimento de Oersted se tiende hori-

zontalmente en la direccion del meridiano magnético, un hilo de cobre, llamado *hilo conjuntivo*, por el cual se hace pasar una corriente eléctrica, poniéndolo en contacto con los polos de una pila (figura 81). Se coloca sobre este hilo una aguja imantada, libremente suspendida, *la cual se desvia inmediatamente de la direccion que deberia tomar, y se aproxima tanto mas á la direccion perpendicular á la corriente, cuanto mayor es la intensidad de esta.*

Pueden presentarse varios casos, en cuanto á la posicion que toman los polos de la aguja desviada, aunque segun verémos despues, son debidos todos á una causa única; y para hacer mas sencilla la explicacion, empezarémos por recordar que se supone siempre que la corriente marcha en el hilo conjuntivo del polo positivo al polo negativo, y atraviesa la pila del polo negativo al positivo; advirtiendo que esto no es mas que una suposicion de Ampere, admitida generalmente para representar con comodidad los fenómenos, sin pretender que este sea el verdadero sentido de la corriente, porque ni aun siquiera está probado que el movimiento de la electricidad se verifique en forma de corriente. Esto sentado, pasemos á manifestar los cuatro casos que pueden presentarse en el experimento de Oersted.



Figuras 81, 82, 83 y 84.

Si la aguja se halla debajo de la corriente, y esta va de Sur á Norte, el polo N. ó austral de la aguja se desvia al Oes-

te. Cuando la aguja se coloca encima del alambre conjuntivo, y la corriente pasa tambien de Sur á Norte, el polo N. de aquella se desviará hácia el Este. Si la corriente va de Norte á Sur, la aguja se desvia al Este cuando se halla debajo y al Oeste cuando se coloca sobre el alambre conjuntivo, como puede verse en las figuras 81, 82, 83 y 84.

La accion de las corrientes eléctricas sobre la aguja magnética puede representarse de una manera muy cómoda para conservarla en la memoria, como lo ha hecho Ampere, suponiendo un observador tendido en el hilo conjuntivo, de manera que la corriente le entre por los piés y le salga por la cabeza, y que tenga la cara vuelta hácia la aguja. Cualquiera que sea la posicion que se le dé á esta al rededor del hilo conjuntivo, el polo Norte ó austral se dirigirá siempre á la izquierda del observador. Personificada así la corriente, pueden resumirse todos los casos arriba citados, diciendo que *en la accion directriz de las corrientes sobre los imanes, el polo Norte de estos se dirige constantemente á la izquierda de la corriente.*

La fuerza que emana de una corriente eléctrica obra sobre la aguja imantada de dos maneras: la una directriz y la otra atractiva ó repulsiva, y ambas se ejercen en el vacío, en el aire y al través de todas las sustancias, excepto las que son muy magnéticas, como el hierro. Es fácil asegurarse que esta accion varia con la distancia, haciendo oscilar la aguja mas ó menos cerca de una corriente, bajo la influencia de una fuerte barra imantada que destruya la accion directiva de la tierra. Biot y Savart determinaron así la siguiente ley: *La intensidad de la fuerza electro-magnética está en razon inversa de la simple distancia de la aguja imantada á la corriente.* Advirtiendo que esta ley no es exacta sino cuando la corriente es rectilínea y bastante larga para que pueda considerarse infinita con respecto á la aguja.

Se prueba la accion atractiva ó repulsiva de las corrientes sobre los imanes, suspendiendo una aguja de coser imantada

á un hilo de seda muy fino, y haciendo pasar una corriente horizontal muy cerca de ella: las atracciones y repulsiones que se observan segun el sentido de la corriente, se explican por la teoría de Ampere sobre los solenóides, que verémos mas adelante.

Fundado en el principio descubierto por Oersted, y muy poco despues de este grande acontecimiento, el sábio aleman Schweiger dotó al mundo con un aparato admirable que se conoce con el nombre de *galvanómetro* ó *reómetro* (1), por medio del cual se ponen de manifiesto corrientes eléctricas muy débiles, que no harian la menor impresion en los electróscopos ya explicados, por muy delicada que fuese su construccion; es un galvanómetro, que rivaliza en sensibilidad con los músculos de la rana recien muerta.

Hemos visto que una aguja imantada, cuyo eje se coloca paralelamente á un conductor atravesado por una corriente eléctrica, se desvia hácia el Este ó hácia el Oeste, segun vaya la direccion de la corriente de Norte á Sur ó de Sur á Norte, y que pase por encima ó por debajo de la aguja. Resulta de las consideraciones hechas, que si el conductor que trasmite la corriente pasa primero por encima de la aguja, y se dobla despues para que vuelva á pasar por debajo, dejándola en medio, como se ve en la figura 85, la corriente que recorre la rama superior del conductor tiende á desviar la aguja en el mismo sentido que la que pasa por la rama inferior. Se obtiene así sobre la aguja, una accion doble que si la corriente no obrase mas que una vez por encima ó por debajo. Si en lugar de replegar el conductor una sola vez, se hace dos, el efecto será doble, y triple si se repliega tres. En una palabra, se puede dar al hilo un gran número de vuel-

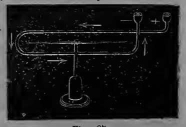


Fig. 85.

(1) Poggendorff, de Berlin, y Avogrado, en Italia, le disputan á Schweiger la gloria de haber inventado el galvanómetro.

tas, y multiplicar así considerablemente la accion de la corriente sobre la aguja imantada.

La simple descripcion de este aparato hace comprender otra de las ventajas que tiene sobre los demás *voltámetros*, y es el indicar el sentido de la corriente, ó sea la situacion respectiva de los polos positivo y negativo del generador empleado.

La construccion del multiplicador varia segun el generador eléctrico que se emplee; pero el tipo general, el multiplicador primitivo, por decirlo así, es el representado en la figura 86. Consiste en un marco de madera *a b c d*, de poca altura y bastante ancho para arrollar en él un alambre metálico *f f*, cubierto de seda con objeto de aislar unas vueltas de otras; en el interior del marco se coloca una aguja imantada *s n*, libremente suspendida, ya sea por medio de un eje, como en la figura 86, ya por medio de una hebra de seda muy delgada.

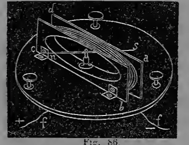


Fig. 86.

Nobili tuvo la ingeniosa idea de poner, en vez de una sola aguja imantada, un sistema astático, es decir, dos agujas que se fijan paralelamente la una á la otra, y con los polos invertidos, en los extremos de un pequeño vástago que las atraviesa por su centro de gravedad; de este modo consiguió neutralizar la fuerza directriz del magnetismo terrestre. Una de las agujas *s n* (figura 87) se coloca dentro del marco, y la otra *n′ s′*, fuera de él; de modo que la desviacion que la corriente tiende á dar á la primera aguja, concuerda con la que le imprime á la segunda, y se aumenta de una manera extraordinaria la sensibilidad del aparato. Es fácil observar que si ambas agujas estuvieran den-


Fig. 87.

tro del marco con los polos invertidos, ó si tuviesen los polos homogéneos dirigidos en el mismo sentido, permaneciendo la una dentro y la otra fuera, tenderian á desviarse en direcciones contrarias, y el aparato dejaria por consiguiente de acusar el paso de la electricidad por el conductor.

El aparato de Nobili, representado en la figura 87, suele tener fuera del marco y debajo de la aguja exterior un círculo graduado para medir la desviacion de la aguja; el marco se coloca sobre un soporte móvil, para ponerle fácilmente en todas las posiciones que se quiera, y los ejes ó hilos de donde están colgadas las agujas se hacen subir ó bajar á voluntad.

Puede haber en el galvanómetro algunas irregularidades, que provienen principalmente de la falta de paralelismo en los ejes de las dos agujas del sistema astático, y en el magnetismo que adquiere el hilo galvanométrico. Para remediar estos inconvenientes, y poder observar las corrientes eléctricas muy débiles, como las que se desarrollan en los nervios y en los músculos, M. Dubois Reymond ha añadido al multiplicador de Nobili un trozo de aguja de coser imantada, que coloca delante del 0 de la division del círculo graduado, y cuya accion compensa el efecto de las causas perturbatrices.

El galvanómetro diferencial es un aparato debido á Becquerel, que difiere de los que hemos explicado, en que tiene dos hilos metálicos rodeados al marco y aislados uno de otro. Por medio de este aparato se pueden compensar dos corrientes eléctricas, poniendo cada uno de sus hilos en contacto con un generador, de manera que las corrientes marchen en sentido opuesto. Si son iguales, el sistema de agujas no experimentará accion ninguna; pero si se mueven, es indudable que el desvío será debido á la diferencia de intensidad entre las dos corrientes. El galvanómetro diferencial tiene tambien la ventaja de que pueden unirse los extremos de los dos hilos metálicos, y segun se haga esta union, puede obtenerse un conductor de doble longitud y

delgado, ó de doble grueso y de la longitud de uno de los hilos.

Los galvanómetros descritos hasta aquí sirven para acusar con una sensibilidad extraordinaria corrientes muy débiles, pero de ninguna manera para medir su intensidad; porque esta está muy léjos de ser proporcional á la amplitud de la desviacion cuando el ángulo del desvío pasa de 20°. Para utilizarlo de esa manera, se han ocupado Peltier, Becquerel, Nobili y Melloni en calcular tablas de correspondencia entre las desviaciones de la aguja y las intensidades relativas de las corrientes; pero sus procedimientos se han abandonado desde que se inventaron los galvanómetros comparables, conocidos con los nombres de *brújula de senos* y *brújula de tangentes*, debidos ambos á Pouillet, aunque el principio del primero lo habia ya descrito De La-Rive en 1824.

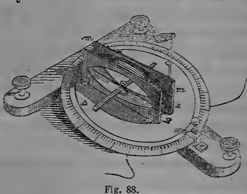


Fig. 88.

La *brújula de senos* se compone de un multiplicador *m* (figura 88), y una aguja imantada puesta sobre un eje en medio del multiplicador; la aguja tiene perpendicularmente á su longitud una reglilla de madera ó de metal muy ligera, sobre la cual se traza un punto de mira, que sirve de indicador para conocer la verdadera posicion de la aguja. El multiplicador y la aguja se fijan en la alidada móvil de un círculo graduado. Cuando el plano medio del multiplicador está exactamente en el meridiano magnético, el aparato debe marcar *cero*, y el punto de mira del índice de la aguja queda

en la vertical de la cerda de un lente ó de un anteojo que se fija al multiplicador, y que lo acompaña en todos sus movimientos. Si en este estado se hace pasar una corriente eléctrica por el multiplicador, la aguja se desvia, y entonces se dará vueltas á la alidada en que está aquel, hasta que el hilo del anteojo llegue al punto de mira de la reglilla; el círculo fijo indica el número de grados que han debido recorrerse para llegar á este punto, y es la medida exacta de la desviacion. En efecto, obedeciendo la aguja por un lado á la fuerza repulsiva de la corriente del multiplicador que la aleja del *cero*, y por otro á la atractiva de la directriz de la tierra, que la llama al mismo cero, resultará que cuando la aguja se halle en el plano del multiplicador, toda la fuerza repulsiva de la corriente habrá sido vencida por la atractiva del meridiano magnético; y no pudiendo serlo sino por otra fuerza igual á ella misma, es evidente que siendo posible medir esta fuerza antagonista, tendrémos la medida de la vencida, ó sea la intensidad de la corriente. Ahora pues, como la fuerza directriz de la tierra es proporcional al seno del ángulo de la desviacion (Pouillet, tom. I, pág. 622), podemos determinar con exactitud las relaciones de intensidad que existen entre las diferentes corrientes que se trasmiten al través del hilo del multiplicador, porque serán proporcionales á los senos de los ángulos marcados por la aguja, y por esa misma razon se ha llamado á este galvanómetro *brújula de senos*.

La *brújula de tangentes* está representada en la figura 89. Se ve en ella que el multiplicador es un gran círculo perpendicular al horizontal *N*, en el cual están la aguja imantada *m*, y la aguja ó regla indicadora *n*. Ambos círculos están colocados sobre un pié *O*, que gira al rededor de un eje vertical, el cual pasa por el centro de un círculo horizontal fijo, y donde se lee por medio de un indicador *Y* el número de grados que ha girado el multiplicador para obtener el mismo resultado que con la brújula de senos, operando de la misma manera. La brújula de tangentes, en efecto, no difiere esencialmen-

te de la de senos sino en las dimensiones respectivas del marco del multiplicador y de la aguja; es decir, en la distancia á que obra la corriente, que debe ser muy grande en el aparato que explicamos, para que de esa manera pueda considerarse que la corriente eléctrica ejerce su accion únicamente sobre el centro de la aguja. El cálculo da entonces que la intensidad de la corriente es proporcional á la tangente del ángulo de desviacion.

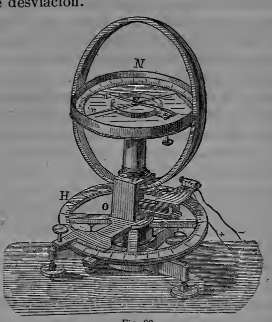


Fig. 89.

El célebre constructor Ruhmkorff ha reunido en un solo instrumento los dos galvanómetros de los senos y de las tangentes, de modo que pueden hacerse con él las dos observaciones; basta mudar de sitio la aguja, ó lo que es mejor, tener dos, una larga y otra corta, esta última para la brújula de las tangentes. Tanto Ruhmkorff como De La-Rive han observado que la brújula de senos da resultados mas exactos que la de las tangentes.

Varias modificaciones se han propuesto para hacer mas exacta la proporcion entre la tangente del ángulo de desvia-

cion y la intensidad de las corrientes. Poggendorff, Weber, Peclet y Despretz han conseguido muy buenos resultados; y M. Gaugain los ha obtenido mejores aun, dando á sus instrumentos un grado de exactitud y de sensibilidad que los hace muy superiores á los demás; la modificacion consiste en colocar la aguja imantada fuera y á cierta distancia del plano medio del círculo vertical que recorre la corriente. Los efectos obtenidos por M. Gaugain los confirma analíticamente M. Bravais.

Otro aparato que da bastante bien la relacion entre las intensidades de las diferentes corrientes que trasmite, es el *galvanómetro de torsion* de Ritchie. Consiste en una balanza de torsion, en que la aguja imantada astática se encuentra, cuando está á *cero* de torsion, en el meridiano magnético y en el plano medio del marco del multiplicador.

Becquerel ha imaginado una *balanza electro-dinámica*, que no es del caso explicar ahora, y que puede servir, no solo de *galvanómetro* comparable, sino tambien de galvanómetro diferencial. Por último, M. Weber ha hecho modificaciones importantísimas en el galvanómetro ordinario, que pueden tambien aplicarse á los llamados comparables. Dichas mejoras están fundadas en que es preferible tener desviaciones débiles medidas con gran precision á conseguir grandes desviaciones evaluadas solo aproximativamente. Este físico se ha servido de una barra gruesa imantada, suspendida por el sistema bifilar ó de dos hilos, con un espejo y un anteojo además, que aumenta considerablemente las divisiones reflejadas por el espejo. El marco del multiplicador está interiormente forrado de cobre, y este metal, como verémos mas adelante, ejerce una influencia sobre un iman en movimiento; influencia de que se ha aprovechado M. Weber para disminuir el número de oscilaciones de la barra y hacer menos molestas las observaciones.

Por medio de los galvanómetros descritos puede compararse, segun hemos dicho la intensidad de diferentes corrientes

eléctricas, y por medio de estas comparaciones, hechas entre otros por Ohm, Pouillet, Fechner, Faraday y De La-Rive, se han deducido las leyes sobre la intensidad de las corrientes que pasarémos á enunciar; pero antes describirémos un instrumento que ha servido tambien para la determinacion de dichas leyes.

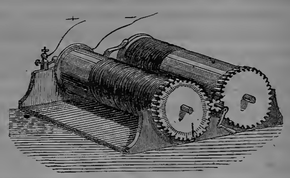


Fig. 90.

El *reóstato* es un instrumento debido á Wheatstone, que sirve para aumentar ó disminuir la longitud del circúito que recorre una corriente, y hacerle producir en el galvanómetro un desvío determinado. Se compone de dos cilindros (figura 90), uno de madera y otro metálico, que tienen ambos una ranura en espiral, al rededor de la cual puede adaptarse un hilo conductor de la electricidad. Por medio de una cigüeña se mueven á la vez los dos cilindros; de manera que el hilo metálico se revuelve en el uno cuando se desenvuelve en el otro. Uno de los reóforos de la pila ó generador eléctrico viene á terminar en el cilindro metálico, el otro en un tornillo puesto en contacto con el extremo del hilo que se revuelve en el de madera. Como este no es conductor de la electricidad, y el de metal sí lo es, resulta que se va alargando el circúito á medida que se va dando vueltas en él al hilo metálico, si, como debe procurarse, hay la debida separacion de una vuelta á otra. M. Jacobi ha construido aparatos reostáticos, á que ha dado el nombre de *agómetros*, y en los cuales

ha sustituido con el mercurio el alambre de cobre del reóstato de Wheatstone.

Las leyes de las corrientes eléctricas, cualquiera que sea su orígen, deducidas de las observaciones hechas con los instrumentos que acabamos de describir, son:

1.ª *La intensidad de una corriente eléctrica es directamente proporcional á la suma de las fuerzas electro-motrices que están en actividad en el circúito;* entendiendo por fuerza electro-motriz, la causa, cualquiera que sea, que produce un desprendimiento de electricidad dinámica.

2.ª *La intensidad es igual en todos los puntos del circúito.*

3.ª *La intensidad está en razon inversa de la longitud de todas las partes del circúito.* Hay que tener presente en esta ley que las pilas presentan resistencias muy diversas, y que en vez de la longitud de la pila, debe hacerse entrar en la del circúito la de un hilo metálico de las mismas circunstancias que el *interpolar*, y cuya resistencia equivalga á la de la pila. A este circúito, así corregido, es á lo que llama Pouillet *corriente reducida.*

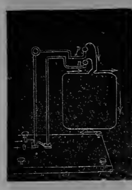
4.ª *La intensidad está en razon directa de la seccion y de la conductibilidad del hilo que trasmite la corriente.*

De estas dos últimas leyes se deduce que *la intensidad permanecerá constante si la seccion del hilo varia proporcionalmente á su longitud.*

Accion directriz de los imanes sobre las corrientes. — Ampere, cuyo nombre hemos citado ya varias veces en el curso de esta reseña, y que ocupa en los anales de la electricidad uno de los puestos mas eminentes, pensó que la accion entre las corrientes y los imanes debia ser recíproca, y que en el experimento de Oersted, si la aguja imantada es la que se mueve y se pone en cruz con la corriente, no debia esto atribuirse á que la aguja fuese siempre pasiva, sino á su movilidad. En efecto, la experiencia vino á confirmar el hecho

de que cuando el iman está fijo y el hilo conjuntivo es móvil, este es el que se dirige y viene á ponerse en cruz con el iman, dejando al polo Norte siempre á la izquierda.

Para demostrar este principio imaginó dar al conductor la disposicion representada en la figura 91, es decir, doblarlo en forma de rectángulo, de manera que sus extremidades viniesen á estar casi reunidas, pero sin tocarse; introduciendo cada una de estas extremidades en una cavidad llena de mercurio, y en comunicacion con los polos de una pila, quedaba móvil una parte del conductor, puesto que podia girar sobre los dos puntos *p n*. Si se aproxima un iman á la parte inferior del rectángulo móvil, este se pone inmediatamente en movimiento, y despues de varias oscilaciones queda en un plano perpendicular al iman. Si en esta posicion se cambia el sentido de la corriente, el conductor se pone en movimiento, y describe 180°, para volver á quedar en cruz con el iman, pero con los polos invertidos, es decir, siempre á la izquierda del observador supuesto por Ampere, ó sea de la corriente. Realizado este pensamiento, era natural que Ampere no se detuviera en la brillante carrera que se abria ante él, y que lo habia de conducir á demostrar, por decirlo así, la teoría del magnetismo. No tardó en descubrir, sirviéndose de una corriente poderosa y de un conductor móvil, como el ya descrito, pero de un diámetro de 40 ó 50 centímetros lo menos, que el magnetismo terrestre obra sobre las corrientes como lo haria un iman, y el conductor móvil atravesado por una corriente viene á ponerse en un plano perpendicular al meridiano magnético, marchando de Este á Oeste en la parte inferior del rectángulo ó del círculo.


Fig. 91.

Este principio se demuestra tambien con la pila flotante de G. De La-Rive, que consiguió con ella realizar lo que vana-

mente habia intentado Davy, suspendiendo una pila voltáica. La pila flotante se reduce á un par de láminas de cobre y zinc clavadas en un corcho, de manera que lo atraviesen enteramente, y que quede la mayor parte de la superficie de las láminas en la parte inferior del corcho, y sumergida por consiguiente en el líquido acidulado en que flota este. Los dos extremos de los pares que asoman en la parte superior del corcho se reunen por medio de un alambre, al cual se le hace dar un gran número de vueltas en el mismo sentido, para que la corriente, naturalmente débil, porque no proviene sino de un par de chapas, se multiplique y se dirija con mas energía, ya por la influencia de un iman que se le presente, ya por la accion del magnetismo terrestre (figura 92).

Fig. 92.

La accion directriz de la tierra sobre las corrientes, aunque menos poderosa que la de un fuerte iman que se acerque mucho al conductor, puede alterar los resultados cuando se estudia esta última accion, y para evitarlo, imaginó Ampere doblar el hilo conductor móvil de manera que forme dos rectángulos iguales, de una de las dos maneras representadas en la figura 93; disposicion por medio de la cual las acciones directrices de la tierra sobre las dos partes del circúito tienden á dirigirlas en sentido contrario, y por consiguiente se destruyen, como sucede con el sistema astático de agujas; por esa razon se ha dado á las corrientes que recorren un conductor dispuesto así, el nombre de *corrientes astáticas*.

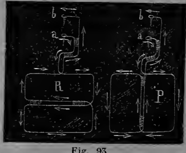


Fig. 93.

ELECTRO-DINÁMICA.

Desde que empezó Ampere la série de investigaciones que hizo, fundado en el descubrimiento de Oersted, notó que una corriente eléctrica no obra solamente sobre un iman, sino tambien sobre otra corriente eléctrica, y el 25 de setiembre de 1820, presentó á la Academia el resultado de sus observaciones sobre la accion que ejercen las corrientes eléctricas unas sobre otras; observaciones que constituyen un nuevo ramo de la electricidad, denominado *electro-dinámica*, cuyos principios expondrémos con la mayor brevedad posible.

Cuando dos corrientes *rectilíneas* y *paralelas* entre sí pasan por conductores móviles, ó solo hay uno fijo, *se atraen mútuamente cuando están dirigidas en el mismo sentido, y se rechazan cuando marchan en sentido contrario.* Ley que puede demostrarse experimentalmente con el conductor astático móvil de la figura 93; pues si se le presenta á corta distancia un alambre cogido con las dos manos, por el cual pase otra corriente eléctrica, se observa que si la corriente marcha en el mismo sentido, el conductor móvil gira y se aproxima. Basta invertir las manos de modo que la corriente pase en el alambre en sentido contrario, para observar el fenómeno opuesto; el conductor móvil girará, pero será para alejarse del alambre que se le presenta.

No tardó Ampere en generalizar la ley de las corrientes paralelas, extendiéndola al caso de que las corrientes sean angulares, es decir, cuando los dos conductores, atravesados cada uno por una corriente, forman un ángulo, ya sea en el mismo plano, ya en planos diferentes; en este último caso el ángulo formado por las dos corrientes es el que forman los dos planos en que están situados los conductores, y tiene por vértice la línea recta que mide la distancia mas corta que los separa. La ley que encontró Ampere en este caso general es la siguiente: *Dos corrientes angulares se atraen cuando su direc-*

cion es tal, que ambas marchan hácia el vertice del ángulo, ó que ambas se apartan, y se rechazan cuando la una se dirige hácia el vértice y la otra se separa de él.

Esta ley comprende cuatro casos diferentes, para cuya inteligencia basta examinar la figura 94, en la cual las flechas mas largas indican la direccion de las corrientes, y las cortas el sentido en que son solicitados los conductores, es decir, la atraccion ó la repulsion que experimentan.

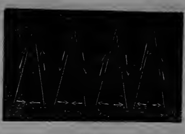


Fig. 94.

La ley de las corrientes angulares es la misma, cualquiera que sea el valor del ángulo, y puede considerarse como un caso particular de la ley general enunciada para las corrientes rectilíneas paralelas. Otro caso particular, muy interesante, por lo cual nos detendrémos un poco en él, es cuando las dos corrientes forman un ángulo de 180°, es decir, cuando la una es prolongacion de la otra. Ampere trató de verificar la ley directamente para este caso, y se valió del siguiente experimento : por medio de una sustancia no conductora se divide el vaso *A B* (figura 95) en dos compartimentos, que se llenan de mercurio; tomando despues un hilo de metal cubierto con seda, á excepcion de los dos extremos, se le da la forma que representa la figura, teniendo cuidado que los dos trozos *a b*, *a′ b′*, perpendiculares al plano del arco *b c b′*, sean paralelos uno á otro. Se hace flotar este alambre sobre el mercurio, de modo que cada brazo *a b* y *a′ b′* entre en su compartimento, y que los extremos desprovistos de seda estén en contacto con el mercurio. Sumergiendo despues los polos de la pila uno en cada compartimento, se hace que la corriente atraviese el hilo metálico flotante; y apenas

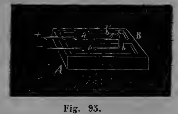
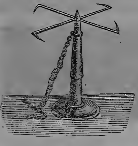


Fig. 95.

se cierra el círculo, cuando se pone en movimiento, resbalando sobre el mercurio y alejándose rápidamente hácia atrás; efecto que Ampere atribuye á la repulsion entre la corriente que atraviesa el flotador y la corriente que se trasmite en el mercurio antes de penetrar en el alambre ó despues de haber salido.

La corriente del mercurio y la del hilo no son en efecto sino prolongacion una de otra, ó lo que es lo mismo, son dos corrientes que forman un ángulo de 180°, de las cuales la una se dirige al vértice del ángulo, y la otra se separa de él; es pues consiguiente que haya repulsion en cada una de las ramas separadamente, conforme á la doctrina antes emitida. Esta consecuencia importante de la ley general se anuncia diciendo que *todos los elementos de una misma corriente se rechazan unos á otros*. Hay que advertir, sin embargo, que no todos los físicos están convencidos de la demostracion de esta ley por los fenómenos observados en el experimento que acabamos de citar, aunque corroborados por los de otro que le es semejante, y que se debe á Davy. De La-Rive y Becquerel parecen no dudar de ello, pero Pouillet y otros suponen que bastaria que una porcion de la corriente se presentase oblícuamente para que hubiera repulsion. Creemos que los físicos deberian apurar esta cuestion y buscar una demostracion práctica, que no dejase lugar á duda ninguna. De La-Rive se figura haberla encontrado, atribuyendo á este principio lo que pasa en el molinete eléctrico, que darémos á conocer en este lugar, aunque los tratados de física lo incluyen siempre en el capítulo sobre la electricidad estática.


Fig. 96.

El molinete eléctrico (figura 96) es un aparatito compuesto de cuatro, seis ó varios vástagos metálicos, dispuestos como los rádios de un polígono regular, pero cuyos extre-

mos tienen todos una curvatura en el mismo sentido, y cuyos centros están fijos á una chapa que puede girar sobre un eje. Poniendo este aparato sobre el conductor de una máquina eléctrica, los rádios empiezan á dar vueltas en sentido contrario á la curvatura, en el momento en que se carga la máquina.

Este fenómeno se explica casi generalmente diciendo que el flúido eléctrico, esparcido en la superficie de los vástagos del molinete, ejerce en todas direcciones una presion sobre el aire que lo rodea; que no encontrando salida, las presiones opuestas serian siempre iguales, y el aparato permaneceria en reposo; pero que hallándola por las puntas de que están provistos los vástagos, no hay ya presion en el punto de salida, y la que continúa ejerciéndose en el opuesto determina el movimiento por un efecto de retroceso ó de reaccion. Ganot desecha abiertamente esta explicacion, y adopta con mas fundamento la de un efecto de repulsion entre la electricidad de las puntas y la que ellas le comunican al aire. De La-Rive, que no conocia esta teoría, puesto que al hablar del molinete en la electricidad estática, da la explicacion admitida por sus predecesores, sin condenarla, reproduce, sin embargo, casi enteramente la teoría de Ganot, pero menos circunscrita, por considerar el fenómeno como una consecuencia de la ley Ampere; y supone que la electricidad que sale por las puntas forma una corriente, que se propaga en el medio en que penetra, y que el movimiento continuo de rotacion que experimenta el molinete en sentido opuesto á las puntas, no es mas que el resultado de la repulsion continua que se verifica entre la corriente que recorre el vástago metálico móvil, y la que ha salido para penetrar en el aire. Hé aquí un nuevo punto de contacto entre la electricidad estática y la dinámica, que podria servir de fundamento á trabajos muy interesantes.

Otra consecuencia importante de los principios expuestos sobre las corrientes angulares es la *accion directriz de una*

corriente abierta, sobre otra corriente cerrada, que se demuestra tambien por medio del conductor móvil de la figura 93. Presentando en la parte inferior de la corriente cerrada un alambre horizontal atravesado por otra corriente, si el alambre está fijo, y por su longitud puede considerarse como infinito relativamente al conductor móvil, se observará que el conductor de la *corriente fija tiende á colocar el otro de la móvil en una posicion paralela tal, que el sentido de las dos corrientes sea el mismo en los dos alambres inmediatos;* es decir, en el fijo infinito y en el trozo del conductor móvil mas próximo á él.

Las atracciones y repulsiones que ejercen entre sí las corrientes angulares pueden trasformarse fácilmente en un movimiento circular continuo. Si hay, por ejemplo, dos corrientes, una *A B C* circular fija en un plano horizontal (figura 97), y la otra *m n* rectilínea, móvil y en un plano vertical, y ambas marchan en el sentido de las flechas, deberán atraerse en el ángulo *n m C*, porque ambas se dirigen hácia el vértice *m*, y se rechazarán en el ángulo *n m B*, porque la una se dirige á dicho vértice *m*, y la otra se separa de él; por consiguiente, ambos efectos concurren á hacer girar el alambre *m n* en el sentido *C A B*.

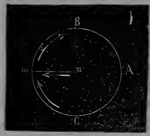


Fig. 97.

Además de Ampere, Davy, Faraday, De La-Rive y Poggendorff han hecho trabajos muy interesantes sobre la rotacion continua que resulta de la accion mútua de los imanes y de las corrientes, y de estas entre sí. No nos es posible detenernos mas sobre este particular, porque nos llevaria demasiado léjos; pasarémos, pues, á exponer en breves palabras otra ley importante para comprender lo que nos queda que decir sobre esta materia.

Ley de las corrientes sinuosas.—La accion de una *corriente sinuosa es la misma que la de una corriente rectilínea de igual*

longitud en proyeccion. Este principio se demuestra disponiendo una corriente (figura 98), en que una parte *a b* sea sinuosa, y la otra *c d* rectilínea; si este conductor se aproxima á la corriente móvil de la figura 93, se verá que no ejerce accion ninguna sobre ella, mientras que una de las dos partes separadas la atrae ó la rechaza segun el sentido de la corriente.

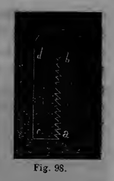


Fig. 98.

Teoría de Ampere sobre el magnetismo.

Despues de haber estudiado la accion mútua de las corrientes electricas unas sobre otras, y determinado sus leyes, trató Ampere de identificar la accion de las mismas corrientes y de los imanes por medio de una hipótesis muy ingeniosa sobre la naturaleza del magnetismo. Analizando con esmero la accion de las diferentes partes de un iman sobre una corriente móvil, y la de una corriente sobre las diferentes partes de un iman móvil á su vez, vió que estas acciones eran exactamente las mismas que hubieran tenido lugar si se hubiese reemplazado la seccion del iman actuante, ó sometido á la accion, por una corriente eléctrica que hubiese dado la vuelta á la seccion, ó sea por consiguiente un circúito cerrado y situado en un plano perpendicular al eje del iman. Examinando además en qué casos habia atraccion y en cuáles repulsion, entre la seccion de un iman y una corriente eléctrica cuya direccion conocia, consiguió determinar cuál debia ser el sentido de esas corrientes hipotéticas, y para ello se fundó en la ley que él mismo habia encontrado, de que hay atraccion cuando las corrientes van en el mismo sentido, y repulsion cuando marchan en sentido contrario. Hé aquí cómo se consigue obtener esa determinacion.

Se toma una barra imantada prismática, y teniendo cuidado de mantenerla horizontal con el polo Norte á la izquier-

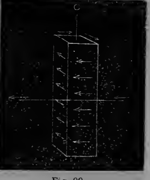
da, se presenta al vástago vertical de un conductor móvil astático, que forme parte de un circúito eléctrico, y entonces se observa que si este vástago está atravesado por la corriente de abajo arriba, es rechazado por todas las partes de cada una de las caras del iman; y por el contrario, es atraido con la misma generalidad si la corriente va de arriba abajo. Es preciso tener cuidado de mantener siempre la barra imantada horizontal, con el polo Norte á la izquierda, cuando se pasea de un extremo á otro cada una de sus caras delante de la corriente vertical. Si con un poco de cera se aplican á cada una de dichas caras del iman flechas de carton con la punta en la direccion segun la cual deberia marchar una corriente, para producir sobre el conductor móvil la atraccion ó la repulsion que determina en él la accion del iman, se ve que esas flechas representan una corriente que circula al rededor de cada una de las secciones del iman, en el mismo sentido en todas ellas, es decir, de arriba abajo en la cara inmediata al conductor móvil, de abajo arriba en la opuesta, alejándose del conductor en la cara inferior, y acercándose en la superior. El conjunto de estas direcciones constituye verdaderamente una corriente que circula al rededor de cada seccion del iman, como en un circúito cerrado.

Cuando sin cambiar las flechas de posicion se da vuelta al iman, poniendo el polo Norte á la derecha, es fácil comprender que quedando invertida la direccion, resulta que la corriente que representan va de abajo arriba en la cara que mira á la corriente móvil; así es que entre las diferentes partes del iman que se presentan sucesivamente á la corriente y la corriente misma, hay repulsion cuando esta va de abajo arriba; accion precisamente contraria á la que tenia lugar en el caso precedente.

Se obtiene un resultado idéntico presentando una corriente horizontal á las diferentes secciones de un iman suspendido verticalmente de un hilo por uno de sus extremos (figu-

ra 99) é indicando con flechas en las caras del iman, á diferentes alturas, la direccion que deben tener las corrientes, que se supone circulan al rededor de su superficie, se da uno cuenta perfectamente de los efectos atractivos ó repulsivos que se observan.

Puede por lo tanto considerarse un iman como formado por una reunion de corrientes que circulan todas en el mismo sentido al rededor de su superficie, y situadas en planos paralelos entre sí y perpendiculares al eje del iman. En cuanto al sentido de estas corrientes, acabamos de ver al analizar la accion mútua de un iman y de una corriente cuya direccion se conoce, que esta es tal, que si el observador tiene el iman delante, colocado horizontalmente con el polo Norte á la izquierda, la corriente va de arriba abajo en la cara exterior mas lejana, y de abajo arriba, por consiguiente, en la cara interior mas próxima al que observa. Es mas cómodo para fijar bien esta direccion en la memoria, suponer el iman en su posicion natural, es decir, en la que le imprime, cuando es móvil, la fuerza directriz de la tierra, ó sea con el polo austral vuelto hácia el Norte; se ve entonces que la direccion de las flechas indica que la corriente se dirige de Este á Oeste en la cara inferior del iman, y por consiguiente, de Oeste á Este en la superior; que es ascendente en la cara que mira al Oeste, y descendente en la que está al Este. La corriente en dicho caso pasaria sobre la barra imantada de Oeste á Este, y por debajo de Este á Oeste.


Fig. 99.

Es evidente que la forma del circúito en que circula cada una de estas corrientes paralelas, cuya reunion constituye el iman, depende de la forma exterior del iman mismo; será circular, cuando el iman sea cilíndrico; rectangular, cuando sea un paralelepípedo, y una serie de rectángulos, que

irán disminuyendo de tamaño del centro á las extremidades, cuando el iman sea un prisma romboidal.

La hipótesis de Ampere sobre la constitucion de los imanes de la manera que acabamos de exponerla, y que hemos extractado del tratado de electricidad de De La-Rive, explica de la manera mas satisfactoria el descubrimiento fundamental de Oersted, así como todos los experimentos relativos á la desviacion de un iman ó de una corriente por la accion mútua que ejercen entre sí. Todos estos efectos, así como los de la atraccion y repulsion de los imanes unos sobre otros, vienen á referirse á los que resultan de la accion mútua de dos corrientes una sobre otra; accion en virtud de la cual tienden á colocarse paralelamente entre sí, de manera que su direccion sea en el mismo sentido. Para que este paralelismo pueda tener lugar entre una corriente eléctrica y las que circulan al rededor del iman, es indispensable que este se coloque transversalmente á la corriente que obra sobre él, y es lo que precisamente sucede en la experiencia de Oersted cuando el iman tiende á desviarse de la direccion normal que tenia antes de que pasara la corriente, y toma una posicion perpendicular á ella: no pudiendo obedecer á la atraccion ó á la repulsion directamente, da vueltas al rededor de un punto central.

Para confirmar su hipótesis sobre la naturaleza del magnetismo, para hacer mas patente la identidad de los flúidos eléctrico y magnético, Ampere trató de disponer corrientes de la misma manera, que segun él habia imaginado, estaban dispuestas naturalmente en los imanes, y consiguió obtener así una reunion de corrientes con todas las propiedades de verdaderos imanes. Tomó con ese objeto un alambre de cobre, y dándole vueltas en forma de hélice, de manera que las espiras sucesivas no se tocaran unas á otras, dobló despues los dos cabos del alambre, y haciéndoles seguir el eje de aquella hasta la parte media, los sacó de manera que no se tocaran entre sí ni llegaran á ninguna otra parte de la

hélice, encorvando las puntas para poder suspenderlo como un conductor móvil (figura 100). Estableciendo despues una corriente eléctrica al través del alambre que forma la hélice así dispuesta, se encontró con que tenia un verdadero iman, cuyo eje y polos estaban constituidos por el eje y las extremidades de la hélice. Una barra imantada ordinaria ejercia sobre dichas extremidades las mismas atracciones y repulsiones que hubiera ejercido sobre la aguja de una brújula.



Figuras 100 y 101.

Una hélice de esta naturaleza, formada por un alambre metálico y recorrido por una corriente eléctrica, se conoce hoy con el nombre de *hélice electro-dinámica ó solenóide*. Para obtener efectos mas marcados, se construyen con un alambre cubierto de seda, de manera que las espiras pueden arrimarse unas á otras hasta quedar en contacto, sin dejar de estar aisladas unas de otras.

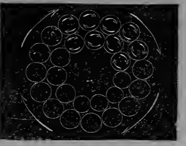
Por muy aproximadas que estén unas espiras á otras, nunca son perpendiculares al eje de la hélice, y por consiguiente la direccion de la corriente es oblícua, y puede considerarse en cada espira como la resultante de dos direcciones, una paralela al eje del solenóide y otra perpendicular. Como segun la teoría de Ampere, esta es la única que existe en los imanes, para que un solenóide sea un verdadero iman es preciso destruir la componente que marcha paralelamente al eje, lo cual se consigue fácilmente por lo que vimos en la ley de las corrientes sinuosas, dando al solenóide la forma de la figura 101, es decir, haciendo que el alambre con que se ha formado la hélice vuelva por el interior á salir por el extremo donde empezó. De esta manera no queda en el solenóide sino la accion de la corriente perpendicular á su eje, exactamente como la de una série de corrientes circulares y paralelas.

Siendo los solenóides verdaderos imanes, puede aplicárseles cuanto se ha dicho sobre la accion de las corrientes eléctricas y de los imanes unos sobre otros; y se ha visto en efecto por la experiencia, que obedecen á las mismas leyes; es pues inútil emitirlas de nuevo, como lo hacen algunos autores, para explicar la accion de los solenóides sobre los imanes, sobre las corrientes y sobre otros solenóides. El primer experimento de Ampere, que hemos citado, basta para dar un ejemplo de dichas acciones, y para hacer ver la manera de disponer los solenóides, cuando se quiere que sean móviles.

Para completar la teoría de Ampere sobre el magnetismo, dirémos de qué manera se explican por ella los fenómenos *magnético-terrestres*. Se admite la existencia de corrientes eléctricas que circulan constantemente al rededor de nuestro globo, de Este á Oeste, perpendicularmente al meridiano magnético y situadas á una profundidad poco distante de la superficie. A estas corrientes se debe la direccion que toman las agujas magnéticas libremente suspendidas, que corresponde perfectamente con las leyes enunciadas por Ampere. A dichas corrientes parece que se debe tambien, y no tardarémos en ver razones que lo confirmen, la imantacion natural de ciertos depósitos de mineral de hierro que se encuentran con frecuencia. En cuanto al orígen de estas corrientes, llamadas *corrientes telúricas*, se atribuye generalmente á las variaciones de temperatura que resultan de la presencia sucesiva del sol sobre las diferentes partes de la superficie del globo; en una palabra, á una accion *termo-eléctrica*.

Algunas objeciones se han hecho á la teoría de Ampere por Faraday y De La-Rive; entre otras, la de la falta de accion que se nota en los polos mismos de una barra imantada; hecho contradictorio, al parecer, con los principios expuestos; pero el sábio autor de la teoría del magnetismo, en vez de desanimarse, consiguió responder victoriosamente, y ha establecido su teoría sobre bases bastante sólidas para que sea generalmente admitida.

parte de este principio : que las corrientes eléctricas, á las cuales deben los imanes sus propiedades, son moleculares, es decir, que circulan al rededor de cada partícula. Estas corrientes eléctricas preexisten en todos los cuerpos magnéticos antes de que se hayan imantado, solo que están dispuestas de una manera irregular, capaz de hacer que se neutralicen las unas por las otras. La imantacion es la operacion por medio de la cual se les imprime una direcion comun, de donde resulta que la sucesion de las porciones exteriores de las corrientes moleculares, dirigidas todas en el mismo sentido, constituyen una corriente circular al rededor del iman; mientras que las porciones interiores están neutralizadas por las exteriores, dirigidas en sentido contrario, de la molécula siguiente. Para comprender bien estos efectos, es preciso descomponer el iman en capas concéntricas y semejantes. La figura 102 representa la seccion de un iman cilíndrico segun esta hipótesis. Se ve en ella que todas las corrientes moleculares interiores se neutralizan, y no quedan sino las exteriores. Los cuerpos dotados de fuerza coercitiva conservan la direccion impresa á las corrientes moleculares por la imantacion; los que no la poseen, como el hierro dulce, tan luego como cesa la fuerza actuante, vuelven á obedecer á su accion mútua y toman la posicion relativa que produce la cèsacion de todo efecto exterior: el equilibrio.


Fig. 102.

Imantacion por la electricidad dinámica.

Ha llegado el momento de tratar de uno de los descubrimientos mas grandes de este siglo, y uno de los mas prodigiosos que pueden concebirse, por los resultados inmensos que ha producido su aplicacion. Cuando se piensa que la iman-

tacion por medio de las corrientes eléctricas puede obtenerse instantáneamente á una distancia de ciento, de mil leguas, y producir por consiguiente á esa distancia los efectos de atraccion y repulsion; cuando se considera que á la aplicacion de ese descubrimiento se debe el portentoso sistema que hoy se prepara á dar vuelta al mundo en pocos minutos, y en instantes nos trasmite un mensaje, que no hace mucho tiempo hubiera exigido meses enteros, la imaginacion se pierde ante la idea de las maravillas que nos oculta aun la naturaleza, y que un destello de la inteligencia humana, un juego del acaso, puede hacernos conocer de un momento á otro.

Hecho el descubrimiento de Oersted, y obtenida la desviacion de la aguja por la accion de una corriente eléctrica, que obraba como un iman, era natural buscar si no habia una completa identidad entre la electricidad y el magnetismo, considerados entonces como dos flúidos diferentes. En efecto, Arago en Francia y Davy en Inglaterra, mientras que Ampere por otra senda buscaba la misma identidad, tuvieron á un tiempo la idea de ver si el hilo conductor que obra sobre la aguja imantada, no obraria como el iman sobre los cuerpos magnéticos; y ambos encontraron con efecto, Arago primero, despues Davy, que la corriente desarrolla en ellos la virtud magnética en un grado eminente.

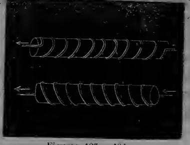
Arago observó que las limaduras de hierro dulce, colocadas á poca distancia de un alambre metálico que una los dos extremos de una pila, son atraidas por él, y se desprenden tan pronto como cesa de funcionar la pila ó se rompe el circúito.

Davy por su parte imantó dos agujas de acero, frotándolas sobre un alambre conjuntivo y colocándolas á alguna distancia de dicho alambre; habiendo empleado la electricidad estática con igual éxito que la de la pila.

Arago consiguió el mismo efecto; pero observó que para dar un magnetismo permanente á las agujas de acero, era necesario colocarlas trasversalmente, y que para hacer mas sensible la accion de las corrientes, era preciso reemplazar el

conductor rectilíneo por una hélice, en cuyo eje se coloca la aguja.

Las figuras 103 y 104 representan dos alambres formando hélice al rededor de un tubo de vidrio, dentro del cual se introduce la aguja ó barra que quiere imantarse; basta hacer pasar la corriente para que se obtenga el efecto instantáneamente en el hierro dulce, y con mas dificultad en las agujas de acero templado, cuya fuerza coercitiva presenta alguna resistencia, sobre todo á la accion de la electricidad de la pila, que es menos poderosa para vencer aquella, que la descarga de una ó varias botellas de Leyden.



Figuras 103 y 104.

En las dos figuras citadas se ve que el alambre puede revolverse sobre el tubo de vidrio de dos maneras: 1.ª como lo representa la figura 103, que es la forma que se le da al instrumento, tan conocido en nuestras mesas, con el nombre de tirabuzon ó saca-corchos, y esta es la que se denomina *hélice dex-trorsum;* 2.ª como indica la figura 104, es decir, con las vueltas en direccion opuesta; ó lo que es lo mismo, suponiendo que la primera parte de la izquierda, para dirigirse á la derecha en un sentido, la segunda sale de la derecha para dirigirse á la izquierda en el mismo sentido; esta es la razon por qué se llama la primera *dextrorsum*, y la última *sinistrorsum*.

La naturaleza del tubo sobre el cual se forma la hélice no carece de influencia. Arago observó que la madera, el vidrio ó cualquier cuerpo aislador no modifica en nada la accion; pero si se interpone un cuerpo conductor de la electricidad, entre el alambre por donde pasa la corriente y la barra que se quiere magnetizar, puede destruir completamente el efecto de la corriente.

La situacion de los polos en las barras imantadas, bien

sean las hélices *dextrorsum* ó *sinistrorsum*, es una consecuencia rigurosa de la teoría de Ampere, que ha confirmado tambien el experimento que hizo Arago de envolver al rededor del mismo tubo un alambre de manera que formase varias hélices contrarias; dispuesto así, introdujo en el tubo una aguja larga, y haciendo pasar una fuerte descarga ó una corriente enérgica, obtuvo un punto consecuente en la union de cada hélice.

No nos detendrémos mas tiempo en narrar los hechos observados, ni en las consideraciones deducidas de ellos sobre la imantacion de las agujas de acero, y pasarémos á tratar de la imantacion del hierro dulce, mucho mas importante para nosotros por la aplicacion que de ella se ha hecho.

Electro-imanes.

Al hablar de la imantacion en el capítulo anterior, hemos visto las tentativas que se han hecho para formar imanes artificiales dotados de gran energía, y la insuficiencia de los resultados obtenidos por los medios conocidos hasta entonces, es decir, el de la friccion con poderosos imanes naturales ó artificiales. Gracias al descubrimiento de Arago, que como hemos visto, fué el primero que observó que un alambre metálico atravesado por una corriente eléctrica, atrae las limaduras de hierro dulce y las retiene á su alrededor, en cantidad considerable, mientras pasa la corriente; gracias á este descubrimiento, podemos construir hoy imanes de una fuerza extraordinaria, valiéndonos de la tercera de las causas que indicamos en dicho capítulo como capaces de desarrollar el magnetismo.

Basta revolver al rededor de una barra de hierro dulce, y siempre en el mismo sentido, un alambre de metal cubierto de seda, de algodon ó de otra sustancia aisladora, y hacer pasar por él una corriente eléctrica para tener un iman mas ó menos poderoso. Este alambre obra como una hélice, ó me-

jor dicho, no es mas que una hélice; y segun hemos visto ya, el hierro se imanta presentando polos contrarios en los dos extremos; se tiene entonces lo que se conoce con el nombre de *electro-iman* ó *iman dinámico*.

La forma de los *electro-imanes* varia mucho, segun las aplicaciones á que se destinen; pero pueden dividirse en dos grandes categorías: *electro-imanes rectos* y *electro-imanes curvos*.

Los rectos son casi siempre cilíndricos, porque las barras comunes de que se echa mano para su construccion tienen generalmente esta forma; pero podrian muy bien ser prismáticos, elipsoideos ó de cualquiera otra forma, sin dejar de tener iguales propiedades. De la misma manera puede variar la disposicion que se adopte para revolver el alambre á su rededor, ya sea haciéndolo directamente sobre el hierro, ya sobre cilindros huecos de madera, cobre, carton, etc., etc., dentro de los cuales se introduce despues un alambre de hierro dulce; aunque es preciso no perder de vista que la naturaleza de la sustancia que separa el hierro de la hélice influye en la rapidez de la imantacion y desimantacion, que disminuye con los buenos conductores: para aumentarla es preciso emplear hierro muy recocido, y puede, además, obtenerse disminuyendo la intensidad de la corriente, y evitando el contacto entre la armadura y el hierro, como verémos despues.

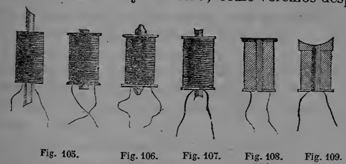


Fig. 105. Fig. 106. Fig. 107. Fig. 108. Fig. 109.

Los polos en la barra se hallan siempre en los dos extremos mas distantes, y estos es indiferente que sobresalgan ó no de la hélice, así como importa poco tambien la forma en que se

les haga terminar. Son planos ó se les da la de un bisel (figura 105) cuando se destinan á imantar barras por el método de la doble friccion; terminan por una punta en los electro-imanes usados en las experiencias en que hay que producir una accion concentrada (figura 106); y por el contrario, se les da una forma cóncava (figura 107), cuando se quiere dispersar la accion polar, para lo cual se usan tambien electro-imanes, cuyas extremidades están guarnecidas de rodajas de hierro (figura 108).

Esta propiedad, y la de no exigir que la masa de hierro esté simétricamente colocada al rededor del eje, permite que los electro-imanes se apliquen con facilidad en los aparatos en la direccion conveniente.

En lugar de una barra de hierro se emplea con frecuencia un manojo de alambres de este metal, reunidos por una virola de lo mismo; pero esta disposicion, si bien es muy ventajosa en algunos casos, como verémos al tratar de la induccion, por la mayor rapidez con que se imanta y se desimanta, no lo es en otras, porque no adquiere una fuerza magnética tan grande como las barras de una sola pieza. Por último, dirémos que estas pueden hacerse huecas cuando el diámetro sea bastante grande, para que resulte de ello una economía (figura 109), dejándole siempre al hierro un espesor que equivalga cuando menos á la cuarta parte del rádio de la barra. Esto parece fundarse en la teoría de Ampere, referida en la pág. 255.

Los *electro-imanes curvos* no son mas que electro-imanes rectos encorvados en forma de herradura, y que presentan, por consiguiente, los dos polos en la misma direccion; ya dijimos en el capítulo del *magnetismo*, las ventajas que esto proporciona en cuanto á la fuerza de atraccion, puesto que la armadura es solicitada doblemente en virtud de la accion de los polos.

La hélice de un electro-iman recto puede dividirse en dos sin que su accion magnética se altere; por consiguiente, en-

corvando una barra cilíndrica en forma de herradura, y adaptando á sus dos brazos dos hélices dispuestas en el mismo sentido, se tendrá *un electro-iman curvo de herradura* (figura 110).

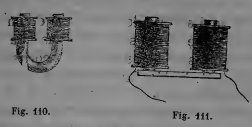


Fig. 110. Fig. 111.

Si en lugar del cilindro de hierro encorvado se emplean dos reunidos por una pieza del mismo metal, debe obtenerse un electro-iman (figura 111) de las mismas propiedades que los de herradura, porque el conjunto de estas piezas unidas por el contacto hace el mismo efecto que si fuera un solo pedazo de hierro; sin embargo, la experiencia parece haber demostrado que estos *electro-imanes* son menos fuertes que los de herradura, pero como se ajustan con mas facilidad en los aparatos en que se aplican, se prefiere hacer uso de ellos, y no se emplean los de herradura sino en los experimentos que necesitan una fuerza considerable.

Todas las observaciones que hemos hecho acerca de los electro-imanes rectos pueden aplicarse á los curvos, pues vienen á ser lo mismo; solo añadirémos algunas consideraciones mas, que son necesarias por su forma especial. La comunicacion de las dos hélices puede hacerse cuando no es uno solo el alambre que forma las dos ramas del *electro-iman*, ya directamente de una á otra, uniendo las dos extremidades correspondientes de cada hélice, ya por medio del hierro mismo del electro-iman, en cuyo caso una de dichas extremidades en cada hélice debe soldarse ó remacharse; este último medio, sin embargo, no se emplea, porque exige mucho mas esmero en el aislamiento del alambre.

Ya hemos dicho que la forma de los electro-imanes depende de los efectos que se quieran obtener. En igualdad de con-

diciones, la longitud influye en su poder cuando son rectos, pero no cuando son curvos; porque la distancia entre los dos polos permanece la misma, cualquiera que sea la longitud de la barra. Este fenómeno tiene relacion con el que se ha observado alejando ó separando las ramas de un electro-iman curvo; la accion que ejerce sobre la armadura varia aunque permanezcan iguales la intensidad de la corriente y la longitud del alambre. M. Nickles ha encontrado que el poder imantador crece regularmente con la intensidad de la corriente, como en los electro-imanes rectilíneos, y decrece despues de haber pasado por un máximum variable, cuya amplitud aumenta tambien con dicha intensidad. Es pues necesario, en la construccion de los electro-imanes curvos, dar á las ramas una separacion apropiada á la intensidad magnética que se quiere obtener. Generalmente se adoptan las dimensiones siguientes: longitud de cada rama cubierta de alambre, variable entre dos veces y media, y cuatro veces el diámetro de la barra de hierro; separacion de las ramas medida interiormente, de una vez y media á dos veces el diámetro del hierro; la longitud del alambre depende de los efectos que se quieren producir, y se rodean por lo regular las dos ramas hasta que las hélices de cada lado se tocan en las últimas vueltas del alambre.

El tamaño de los electro-imanes varia, y pueden emplearse barras de hierro dulce desde 1 hasta 10 ú 11 centímetros de diámetro; dimension con la cual se desarrolla una fuerza muy considerable, si la corriente es proporcional.

Los efectos que producen los electro-imanes dependen de varias condiciones, que resumirémos en este lugar:

1.° Dependen de la naturaleza del hierro ó del metal magnético con que se construye el electro-iman.

2.° De la naturaleza de la sustancia que se interpone entre la hélice y la barra, ó las que puedan cubrir dicha hélice, ya sea total, ya parcialmente.

3.° De las dimensiones de la barra y de su forma.

4.° De la energía de la corriente eléctrica.

5.° De la longitud y del diámetro de los alambres conductores, así como del número de vueltas de la hélice.

Hemos dicho ya lo bastante acerca de la primera de las condiciones, y la necesidad de que el hierro sea muy dulce para evitar los efectos del magnetismo remanente, debido á la fuerza coercitiva, que impide la separacion inmediata de la armadura cuando cesa la corriente.

Tambien hemos hablado de la influencia que tiene en la pronta desimantacion del electro-iman la naturaleza de las sustancias que cubren la barra de hierro dulce. Solo añadirémos que para evitar toda reaccion independiente de los efectos atractivos que se quieren producir, tanto el alambre de las hélices, como los carretes sobre los cuales se revuelve el alambre, deben ser siempre de metales no magnéticos.

Mientras mas grueso es el hierro que se emplea en la construccion de un iman, mayor fuerza adquiere con la misma cantidad de alambre. Este aumento, sin embargo, tiene cierto límite, que depende de la quinta condicion, que vamos á examinar al mismo tiempo que la cuarta.

El acrecentamiento de la fuerza magnética desarrollada no es proporcional al número de elementos con que se refuerza la pila; disminuye progresivamente á cada elemento añadido, y llega á un punto en que es casi insignificante. Esto depende de la resistencia del circúito, y por ello cuando la hélice es corta y hecha de alambre grueso, el límite se obtiene con muy pocos elementos. Cuando por el contrario la hélice es larga y el alambre fino, el límite se aleja considerablemente.

Para dar al electro-iman toda la fuerza de que es susceptible, el diámetro del alambre que constituye la hélice debe variar, no solo segun el número de elementos de la pila, sino segun la naturaleza de esta y la composicion del circúito. Si la pila es débil ó da una pequeña cantidad de electricidad, como la pila de arena, la de Daniell ó la de Bagration, es

preciso emplear alambre fino; si la pila da por el contrario mucha electricidad, como las de Bunsen, Grove ó Wollaston, se necesita alambre grueso.

Las mismas precauciones hay que tomar con respecto á las derivaciones que puedan hacerse en el circúito. Si por ejemplo, se quiere que dos electro-imanes obren á impulsos del mismo generador eléctrico, con la misma energía, hallándose colocados á una gran distancia uno de otro, es preciso que la longitud del alambre sea mayor y el diámetro menor en el electro-iman mas próximo á la pila, sin lo cual la corriente tomaria el camino mas corto, que le ofreceria menos resistencia.

Además de las condiciones que anteceden, la fuerza de los electro-imanes varia en relacion á la masa de su armadura y á la manera con que esta se expone á la accion atractiva. Con respecto al primer punto, dirémos que crece proporcionalmente á la masa de la armadura hasta cierto límite, y generalmente se le da un espesor igual al diámetro de la barra. Con respecto al segundo, se ha observado que la fuerza aumenta sensiblemente cuando la armadura se pone de canto.

La accion de los electro-imanes no se manifiesta solo al contacto, sino á distancia y al través de los cuerpos mas compactos, como sucede con los imanes naturales; pero su energía disminuye en una proporcion considerable á medida que aumenta la distancia.

Otro fenómeno notable que se observa en los electro-imanes, y que recuerda el de la *debilitacion por la sobrecarga* y por la *sobreimantacion*, de que hablamos en el capítulo anterior, es el siguiente: Cuando un electro-iman ha sido *excitado* por una fuerza eléctrica superior á la que debe emplearse en el estado normal, pierde una parte de la fuerza que hubiera tenido sin eso. Este fenómeno lo atribuye Du Moncel á una série de reacciones estáticas, que provocan en el hierro el temple magnético que adquieren las moléculas con el paso de la corriente. De la misma manera explica el que un iman sea

mas enérgico la primera vez que se le hace obrar, aunque las condiciones con que se le emplee despues sean las mismas. Dicha explicacion á la verdad no nos satisface mucho, y si la hemos dado, es porque no existe ninguna mas plausible. Lo que hay de positivo y puede deducirse de estos hechos, es que no se debe nunca ensayar un electro-iman con una fuerza superior á la que ha de emplearse ordinariamente.

Modificaciones introducidas en la forma de los electro-imanes.

Se ha variado infinitamente la forma de los electro-imanes, ya para adaptarlos á diferentes usos, ya para obtener con ellos mayores efectos, ya para hacerlos mas económicos; no harémos mencion sino de algunas de las modificaciones mas notables y mas nuevas, tanto en el electro-iman mismo como en las armaduras.

Hemos dicho que los electro-imanes se construyen dando vueltas á un alambre de cobre cubierto de seda, de lana ó de algodon, sobre una barra de hierro dulce, ya recta, ya curva, en cuyo caso se forman con el alambre dos hélices en vez de una. Generalmente se envuelve el alambre sobre un cilindro hueco de cobre, madera ó carton, con rebordes ó sin ellos, dentro del cual se introduce el hierro dulce. Esta disposicion, si bien disminuye la fuerza de los electro-imanes, es muy cómoda, tanto para ejecutarlos, como para sus aplicaciones: algunos constructores, para aumentar el poder de los electro-imanes practican en el cilindro que sirve de alma, grandes ranuras longitudinales, cuyo efecto explicarémos mas adelante.

Algunas veces, sin embargo, es necesario colocar el alambre sobre el hierro directamente, sin carrete que reciba las espiras de aquel; en ese caso, estas se sobreponen, retrogradando en cada nueva capa, de modo que forma cada hélice dos conos truncados. Dichos electro-imanes (figura 112) se emplean en las máquinas de Clarke, de que hablarémos en el próximo capítulo.

Los Sres. Fabre y Kunemann construyen electro-imanes de una forma particular, que tienen, segun parece, una fuerza muy superior á los demás. Los forman (figura 113) de una barra de hierro dulce, en que uno de los extremos termina por una gran rodaja ó platillo del mismo metal y de un diámetro algo mayor que el de la hélice que ha de formar el alambre; soldando al rededor de dicha rodaja un cilindro hueco, tambien de hierro dulce, resulta que queda el alambre entre la barra y el cilindro hueco, los dos polos del mismo lado, y uno de ellos encerrado dentro del otro, que es anular.

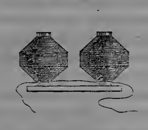


Fig. 112.

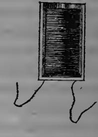


Fig. 113.

Faraday ha imaginado, para estudiar los fenómenos del diamagnetismo y de la polarizacion de la luz bajo la influencia del magnetismo, una forma que permite tener uno frente á otro los dos polos contrarios del mismo electro-iman, y graduar su distancia á voluntad. Se reduce, como se ve en la figura 114, á doblar en ángulo recto cada una de las ramas de un electro-iman curvo, y en vez de ser de una sola pieza la barra, se compone de tres, una de las cuales sirve de corredera á las otras dos.

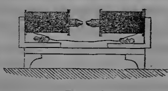


Fig. 114.

La figura 115 representa un electro-iman de polos múltiples, empleado por M. Froment, célebre constructor francés. La distribucion del magnetismo es muy singular en estos electro-imanes; todas las ramas pares tienen el mismo polo, y las impares el polo opuesto; de suerte que siempre hay un

polo entre dos de nombre contrario, y puede decirse que cada rama, menos las extremas, constituye parte de dos imanes curvos. Estos electro-imanes tienen una fuerza extraordinaria, obran á la vez sobre muchos puntos de una armadura, y son por consiguiente muy á propósito para las máquinas llamadas electro-motoras.

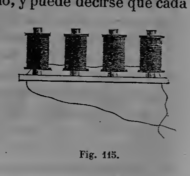


Fig. 115.

Se ha tratado tambien de hacer electro-imanes con planchas de hierro. El que mas ha trabajado sobre este particular ha sido Pulvermacher, y entre otras disposiciones, ha indicado como mejor, porque produce una gran fuerza magnética, la de componer la chapa con tiras de palastro de un milímetro de grueso, sobrepuestas unas á otras, y separadas entre sí por hojas de papel grueso ó cartulina delgada; comprimidas las planchas en un cuadro de cobre, y haciendo que presenten relieves y estrías de seis milímetros próximamente, constituyen, segun su autor, un excelente electro-iman, á pesar de que el conductor que circula al través de las estrías no es mas que de tres milímetros de diámetro.

La armadura en los electro-imanes no es una pieza que como en los imanes permanentes, sirve para impedir la debilitacion del poder magnético por la recomposicion de los flúidos, sino una pieza que es atraida ó abandonada por el electro-iman, segun se halle ó no imantada la barra de hierro dulce que lo constituye, y sirve así para cambiar en accion mecánica la accion eléctrica de la pila.

Las armaduras pueden ser barras imantadas, imanes temporales, es decir, otros electro-imanes, ó simplemente paletas de hierro dulce; y pueden estar dispuestas de varios modos, ya articuladas sobre las dos ramas de los electro-imanes, ó inmediatas á ellas, si el iman es curvo (figura 116), en cuyo

caso el movimiento descrito por la armadura se efectúa paralelamente á la línea axial, pero perpendicular ó formando ángulo con la línea ecuatorial; por consiguiente, en ambos casos la accion de los dos polos sobre el hierro es igual; ó bien la armadura se halla articulada por una de sus extremidades, como en la figura 117, y el movimiento es angular con respecto á la línea *axial;* por consiguiente, la accion de los dos polos es desigual, pero muy eficaz, porque uno de ellos está casi en contacto; ó ya, en fin, se articula la armadura entre los polos del electro-iman por medio de un eje paralelo á las ramas de este (figura 118), en cuyo caso la accion atractiva es lateral, y el movimiento al-alternativo en el sentido ecuatorial de un polo á otro: tal es el sistema empleado por Siemens en su telégrafo eléctrico.

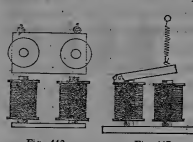


Fig. 116. Fig. 117.

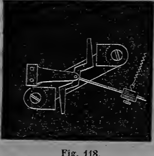


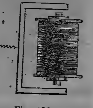
Fig. 118.

Cuando se quiere obtener por medio de un electro-iman el movimiento circular alternativo, se emplean varios medios, entre los cuales parece presentar mas ventajas el indicado en la figura 119, que consiste en hacer mover la armadura por la accion de los dos polos del electro-iman, cuyos bordes se entallan de manera que aquella pueda girar libremente, y esté expuesta á la accion magnética de casi media circunferencia; los dos polos obran á la vez, ayudándose el uno al otro, y cuando se desimantan, el resorte *r*, llamado resorte

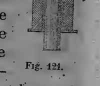


Fig. 119.

antagonista, separa la armadura del electro-iman, y el tope fijo *t* le impide pasar de la posicion que se quiere que conserve. M. Dezelu ha adoptado dos disposiciones ingeniosas para las armaduras de los electro-imanes. La primera permite obtener con un electro-iman recto la misma accion que con uno de dos ramas; consiste en doblar la armadura (figura 120) de manera que se presenta al mismo tiempo á los dos polos. En la otra disposicion el electro-iman es hueco, y la armadura recta se encuentra en el interior del cilindro; la accion de este se manifiesta por la aproximacion de la armadura al uno ó al otro polo.


Fig. 120.

La figura 121 representa, en fin, otra forma ingeniosa, adoptada por Bonelli en sus telares eléctricos; tiene la ventaja de que la armadura al entrar en el cilindro hueco de hierro, como el piston de una bomba, se convierte ella misma en un eléctro-iman, y es atraida con mas fuerza.


Fig. 121.

Para que obren las diferentes armaduras que hemos descrito, es indispensable que despues de verificada la desimantacion haya un resorte que las aleje de la barra de hierro dulce; resorte que recibe el nombre de *antagonista;* pero la propiedad que poseen los electro-imanes de cambiar de polos por la inversion de la corriente que los atraviesa, ha permitido utilizarlos de manera que se evite el empleo de dichos resortes.

M. Gloesener, profesor de física de Lieja, tuvo el acierto de emplear armaduras imantadas en los electro-imanes, llevado de la idea de que los resortes antagonístas ejercen una influencia perjudicial, que explica en su obra sobre telegrafía, al mismo tiempo que demuestra las ventajas de aquellas; ventajas que pone en duda Du Moncel, no con mucha razon en nuestro concepto, porque hemos visto funcionar los aparatos de Gloesener con toda la exactitud apetecible.

Los electro-imanes mas sencillos de esta especie están representados en la figura 122 (a). En ella se ve un electro-iman recto, provisto de dos armaduras articuladas en uno de sus extremos. Para que con semejante forma la armadura quede en una posicion fija, no se puede prescindir de ponerle topes que la retengan en ella, porque la accion magnética podria llevarla mas léjos de lo que era menester.

Fig. 122. (a)

Con la disposicion que acabamos de explicar, pueden obtenerse efectos mayores, combinando varios electro-imanes, haciendo obrar á la vez la atraccion y la repulsion, y en algunas ocasiones una tercer fuerza, que puede ser la gravedad. Entre los infinitos medios propuestos, preferimos indicar el de la figura 122 (b), de que se han servido Tyer, Mirand y Loiseau en sus aplicaciones. Es una aguja ó barra sujeta, como la de una balanza, por el centro, y oscila entre los polos de dos electro-imanes, aunque es fácil comprender que bastaria uno solo si se quisiera. Si el peso del brazo inferior de esta balanza es suficiente para vencer la reaccion de la barra imantada sobre el hierro del electro-iman, ó la reaccion del magnetismo remanente en el momento de la interrupcion del circúito, la armadura toma una posicion vertical; pero segun vaya dirigida la corriente en un sentido ó en otro, así se inclinará á la derecha ó á la izquierda.



Fig. 122. (b)

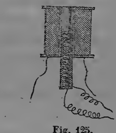
Es inútil advertir que todas estas disposiciones pueden invertirse, es decir, que los electro-imanes sean los que se muevan. Du Moncel supone que esto debe traer inconvenientes, porque hay que poner en movimiento las piezas mas pesadas; pero segun Gloesener, la fuerza se acrecienta, y en algunos

casos presenta muchas ventajas. La figura 123 representa la disposicion propuesta por Gloesener.

Un italiano, el profesor Cecchi, recomienda usar en la telegrafía otra clase de armaduras. Consisten en un electro-iman de la forma indicada en la figura 124, articulado entre los cuatro polos de dos imanes permanentes de herradura. Haciendo que esta articulacion tenga lugar sobre dos puntos en las dos extremidades de las paletas que salen de la hélice y en la prolongacion del eje de esta, se llega á conseguir que el peso de la hélice no tenga ninguna influencia sobre el movimiento de dicha armadura, y se aproveche todo el poder de imantacion de que es susceptible el hierro, sin que haya que temer la desimantacion á que están expuestas las de acero imantado.


Fig. 123.

En el electro-iman hueco de la figura 109, la impulsion que atrae el hierro dulce de la armadura se debe á las acciones recíprocas de la corriente eléctrica y de las corrientes magnéticas creadas en dicha armadura, segun explicamos en la pág. 252; podrá, pues, reemplazarse el hierro por una segunda hélice, en que la corriente eléctrica circule en el mismo sentido. Fundado Siemens en este principio, ha construido electro-motores de un solo electro-iman, provistos de armaduras de esa especie (figura 125); pero para evitar los rozamientos y el deterioro de la materia aisladora, ha cubierto la hélice con un cilindro metálico muy delgado.


Fig. 124. Fig. 125.

Como por una parte el estudio de los electro-imanes es muy interesante, y por otra no nos es posible tratarlo con amplitud en esta obra, recomendamos á nuestros lectores que lean lo que sobre esta materia dice el vizconde Du Moncel en su

excelente tratado de *Aplicaciones de la Electricidad*. No terminarémos, sin embargo, este capítulo antes de haber dado á conocer una nueva especie de electro-imanes, de que no se hace mencion en aquel ni en ningun otro tratado de los publicados hasta el dia en que se escriben estas líneas; pero que ha ocupado recientemente la atencion de algunos individuos de la Academia de Ciencias de Paris, y que han dado á conocer algunos periódicos científicos.

Hélices dinámicas sin alambre cubierto de seda. — Los alambres metálicos que componen las hélices dinámicas generalmente usadas, dice Bonelli, deben ser mas ó menos gruesos y mas ó menos largos, segun los fenómenos que se quieran producir y la fuerza que se emplee; muchas veces es preciso dar á las hélices una gran longitud, y el menor diámetro posible á los alambres; pero estos, ya sean cubiertos de seda, ya de algodon, son excesivamente caros, y hé aquí una de las causas que dificultan las aplicaciones prácticas de la electricidad. Hay por otra parte límites en la finura de los alambres, de que no ha podido pasarse, y seria muy importante, sin embargo, hacerlo, porque abririan nuevo campo al estudio de la electricidad. Bonelli cree haber resuelto el problema en sus dos partes; es decir, que podrá construir á bajo precio las hélices para las máquinas electro-magnéticas, y podrá hacerlas de una finura infinitamente superior á la de los alambres mas delgados.

Supóngase, por ejemplo, una hoja ó tira de papel *A B*, figura 126, de la altura de una hélice dinámica, ó del marco de un galvanómetro, sobre la cual, por cualquiera de los medios conocidos, se tengan líneas metálicas *a a'*, *b b'*, *c c'*, *d d'*; estas líneas permanecen aisladas unas de otras por el papel mismo en que están trazadas, y una corriente eléctri-

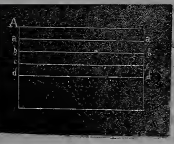


Fig. 126.

ca podrá recorrerlas separadamente y en toda su longitud si hay continuidad en el metal de que están formadas. Si se arrolla el papel sobre un cilindro hueco ó sobre un marco, y se hacen comunicar todos los extremos *a b c d* entre sí y con uno de los polos de una pila, mientras los otros cuatro extremos *a′ b′ c′ d′* comuniquen con el polo opuesto, se tendrá el mismo efecto que daria un alambre cuya seccion fuera igual á la suma de estas líneas, y cuya longitud fuera la de la tira de papel. Si por el contrário, se deja fuera la extremidad interior de la banda, donde están los extremos *a′ b′ c′ d′*, y se reunen *a′* con *b′*, *b* con *c*, *c′* con *d′*, y se ponen despues en comunicacion el extremo *a* con un polo de la pila y el extremo *d* con el otro, la corriente pasará sucesivamente por todas las líneas, marchando siempre en el mismo sentido, y producirá el mismo efecto que un solo alambre delgado cuya seccion fuera igual á la de una de las citadas líneas, y de una longitud equivalente á la suma de ellas.

Segun el autor de esta idea, á las líneas y á los intervalos que las separan puede dársèles un espesor de un milímetro, y menos aun; de manera que se tracen cuarenta ó cincuenta en la altura de una hélice ordinaria. El papel que queda entre las líneas y debajo de ellas, las mantiene perfectamente aisladas, y como puede ser muy fino y apretarse mucho al enrollarlo, en un volúmen pequeño podrá hacerse entrar un número considerable de espiras metálicas.

Bonelli ha construido un galvanómetro y un electro-iman que funcionan, dice, maravillosamente; y se ocupa en fijar por medio del cálculo las leyes que deben servir de base para la construccion de los aparatos eléctricos, segun su sistema.

M. Piallat asegura que un año antes de haberse anunciado en la Academia de Ciencias la invencion de Bonelli, habia tratado de construir hélices dinámicas, fundadas en el mismo principio. En vez de la tira de papel, habia tomado un pedazo de gutta-percha en hojas muy delgadas, y habia rodeado

con él la barra de hierro dulce que debia formar el electro-iman; enrolló despues juntos dos alambres, uno de cobre y otro de zinc algo mas grueso, y una vez cubierto todo el cilindro, desarrolló el alambre de zinc y quedó el de cobre, de manera que todas las espiras estaban aisladas entre sí: aplicó encima otra hoja de gutta-percha, y al enrollar el alambre de cobre, tuvo cuidado de que las espiras quedasen en los huecos que habia dejado el alambre de zinc. M. Piallat, sin poner en duda que su procedimiento sea aplicable y dé excelentes resultados, dice que no fué feliz en su primer ensayo, porque al cabo de dos ó tres meses el paso de la electricidad deteriora la gutta-percha. ¿Sucederá lo mismo con el papel de Bonelli? La experiencia no tardará en decírnoslo.

Por último, el abate Fauvel emplea con éxito, desde hace tres años segun parece, un método económico para construir electro-imanes. Toma un alambre de cobre y un hilo ó cordon de borra de seda ó de algodon, del mismo grueso que el alambre; los enrolla paralelamente sobre el carrete ó cilindro hueco, de manera que cada espira de seda ó de algodon se encuentre interpuesta entre dos de las metálicas; antes de envolver una segunda capa de espiras, cubre la hélice con una banda de papel empapada en una disolucion de goma laca, y obtiene de esta manera un aislamiento perfecto; puede suprimirse el baño de goma laca, porque el papel aisla suficientemente, y como el algodon ó la borra de seda cuesta muy poco, el valor de un electro-iman construido de esa manera excede apenas del precio del alambre de cobre solo.

CAPITULO V.

INDUCCION ELECTRO-DINAMICA.

Todos los fenómenos que constituyen una ciencia tienen sin duda cierta relacion, en mayor ó menor grado, que los hace inseparables unos de otros, y si se nota entre algunos una diferencia tal, que permita, ó mas bien obligue á considerarlos aisladamente, estableciendo una línea de division marcada, se debe en nuestro concepto á la carencia de conocimientos que mas ó menos tarde habrán de adquirirse, á la falta de continuidad en la inmensa cadena de esas mismas ciencias; cadena que si fuera posible completar alguna vez, nos haria pasar insensiblemente de un eslabon á otro, sin los sacudimientos que ponen á prueba nuestra inteligencia y levantan una barrera que la detiene en su curso, hasta que el estudio ó la casualidad, añadiendo un nuevo elemento, permite dar un paso mas. La electricidad, á pesar del gran número de hechos con que se ha enriquecido en estos últimos años, presenta mas que otra ciencia, esa solucion de continuidad que hace poco tiempo permitia apenas establecer la identidad del flúido desarrollado por la frotacion y el que recorre los conductores de una pila; por ella se duda aun de la que debe existir entre la electricidad y el magnetismo; esta misma falta de continuidad en los hechos, ha dejado por espacio de ocho años aislado y sin explicacion plausible el magnetismo que desarrolla la rotacion, y aun en la actualidad no es posible prescindir de la necesidad de separar el estudio de sus fenómenos, de los que dimos á conocer al hablar de la elec-

tricidad por influencia, y de los que mas tarde hemos visto en la imantacion por las corrientes eléctricas, á pesar de que todos ellos reconocen por principio la misma causa.

Al enunciar en el capítulo primero las fuentes productoras de la electricidad, indicamos como una de las mas poderosas la induccion eléctrica, que nace, ya de la electricidad misma, ya del magnetismo, ó sea una verdadera electricidad por influencia; pero nos fué preciso dejar su estudio para este lugar, tanto por el que ocupa en la cronología de la ciencia, como por el conocimiento preliminar que exige de las materias tratadas en los capítulos anteriores.

La creacion de este ramo de los conocimientos humanos se debe sin duda ninguna á Faraday, el primero que con sus descubrimientos estableció los principios fundamentales de varios hechos que ya se conocian, pero que no habian podido explicarse; por esa razon es preciso empezar este capítulo con la enunciacion de los fenómenos observados por el físico inglés en 1832, y dejar para mas adelante los que ya desde 1824 habia estudiado Arago: la accion que ejercen sobre la aguja imantada los cuerpos en movimiento.

Si se colocan paralelamente dos alambres aislados *A B* y *C D* (figura 127), uno cerca de otro, en comunicacion el primero con los polos de una pila *P*, y el segundo con las extremidades de un galvanómetro *M*, que permita juzgar, por las desviaciones de la aguja, del movimiento eléctrico que ha habido en el alambre, se observarán los efectos siguientes:

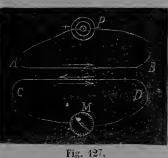


Fig. 127.

En el momento en que se establece la corriente eléctrica en el alambre *A B*, la aguja del galvanómetro experimenta una desviacion; despues de algunas oscilaciones vuelve á su posicion de equilibrio, y permanece en el *cero* mientras la corriente constante circula por *A B;* pero en el momento

en que se interrumpe la comunicacion entre el alambre *A B* y la pila, es decir, en cuanto cesa la corriente, la aguja del galvanómetro se desvia de nuevo, pero en sentido contrario.

Faraday ha llamado *induccion electro-dinámica* al poder que poseen las corrientes eléctricas de excitar en un cuerpo conductor inmediato, pero aislado de ellas, los efectos que acaban de describirse; llama *corriente inductora* á la que produce la pila y recorria el alambre *A B*, y *corrientes inducidas* á las que se observan en el alambre *C D*. Cuando se examina el sentido de las corrientes inducidas, se ve que marchan en sentido contrario de la corriente inductora, cuando se establece esta y empieza á pasar por el alambre *A B*, y en la misma direccion, cuando se rompe el circúito.

Puede, por lo tanto, resumirse el efecto observado diciendo *que una corriente eléctrica inductora puede desarrollar una corriente eléctrica inducida, en un conductor aislado inmediato á ella cuando empieza y cuando termina; marchando en este último caso la corriente inducida en el mismo sentido que la inductora, y en sentido contrario á ella cuando empieza.*

El ejemplo que hemos presentado, muy propio por su sencillez para dar á conocer el fenómeno, no es el mas á propósito para experimentar los efectos de la induccion, porque las corrientes inducidas serian demasiado débiles, y no podrian estudiarse convenientemente. Para conseguirlo se revuelven al rededor de un cilindro de madera dos alambres de metal, cubiertos de seda, de manera que formen dos hélices perfectamente semejantes, cuyas espiras sean paralelas y estén lo mas juntas posible (figura 128). Poniendo la una en comunicacion con el galvanómetro y la otra con la pila, en el momento en que se cierra el circúito de esta, se presentan los fenómenos ya enunciados, pero con mucha mas intensidad.

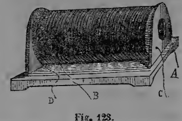


Fig. 128.

El experimento puede hacerse tambien de otro modo: se revuelve al rededor de un tubo de madera ó de vidrio un solo alambre de metal, cubierto de seda, cuyos dos extremos comunican con un galvanómetro; despues se introduce en el tubo con toda la rapidez posible un *cilindro electro-dinámico*, es decir, una hélice atravesada por una corriente eléctrica, y se retira de la misma manera. En el momento en que se introduce se obtiene en la hélice exterior una corriente inducida, inversa á la del cilindro electro-dinámico; y cuando se retira este, se observa otra corriente que marcha en el mismo sentido. Para que una y otra sean sensibles, es preciso, como hemos dicho, introducir y retirar rápidamente el cilindro electro-dinámico, y aun así es imposible crear instantáneamente las corrientes, como se hace por el primero de los dos métodos, en que se establece é interrumpe el circúito; á esa diferencia se debe sin duda la que se nota en las corrientes producidas por uno ú otro medio; por el primero son verdaderamente instantáneas, por el segundo tienen una duracion algun tanto sensible.

Matteucci ha ideado un aparato, figura 129, por medio del cual, no solo puede hacerse el experimento abriendo y cerrando el circúito de la pila, y aproximando el alambre inductor al inducido, sino que en lugar de la electricidad dinámica puede hacerse uso de la estática, y emplear botellas de Leyden en vez de pilas voltáicas. Consiste aquel en dos discos de vidrio con marcos de laton, fijos sobre unos piés *A* y *B*, de modo que pueden aproximarse el uno al otro cuanto se quiera. En la cara anterior del disco *A* se coloca un alambre de cobre aislado, envuelto en espiral, cuyos dos extremos atraviesan el disco en *C* y *D*, y terminan en unas pinzas ó tornillos, donde se sujetan los alambres que han de poner en comunicacion la espiral con la pila ó con la botella de Ley-

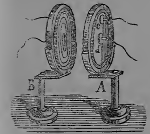


Fig. 129.

den. En el disco *B* hay otra espiral dispuesta de la misma manera, y en los tornillos donde terminan sus extrêmos se fijan los alambres que han de hacer pasar la corriente inducida por el galvanómetro ó por el electróscopo.

La analogía que existe entre las propiedades de los imanes y las de los cilindros electro-dinámicos, hizo suponer á Faraday que se obtendrian los mismos resultados introduciendo en el interior de la hélice (figura 128) un iman en vez de un cilindro electro-dinámico; y así sucedió, resultando un efecto inverso al que se dió á conocer en el capítulo anterior, donde por medio de la electricidad vimos que podian obtenerse imanes; Faraday, por medio de un iman, consiguió desarrollar una corriente eléctrica, descubriendo así con la induccion magnética un nuevo manantial de flúido eléctrico, y estableciendo una analogía mas entre la electricidad y el magnetismo.

Para verificar este experimento se emplea un cilindro hueco *M N*, de madera ó de carton (figura 130), al rededor del cual hay una hélice formada de un solo alambre de cobre bastante largo, cubierto de seda, cuyos dos cabos se ponen en relacion con un galvanómetro. Si se introduce un iman por uno de los extremos de la hélice, la aguja del multiplicador se desvia inmediatamente, el efecto cesa, no hay ninguno mientras permanece fijo el iman, y vuelve á manifestarse otra corriente de induccion, inversa de la primera, en el momento en que se retira la barra imantada. Si se examina el sentido de las corrientes inducidas con respecto á los polos del iman, se ve que concuerda perfectamente con la teoría de Ampere, y que si en vez de un iman se introdujera el solenóide de que se supone formado, la direccion seria la misma. Cuando la barra imantada que se emplea es bastante enérgica, las corrientes inducidas son mucho mas fuer-

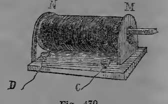


Fig. 130.

tes que las producidas por corrientes eléctricas inductoras.

Fundado en los principios ya estudiados en el electro-magnetismo, puede emplearse otro procedimiento mas cómodo y mas enérgico; porque es muy difícil introducir y retirar el iman con la prontitud necesaria. El método que decimos, consiste en meter un cilindro de hierro dulce en el interior de una hélice, cuyos dos extremos comunican con el galvanómetro. En el momento en que se aproxima á uno de los extremos del cilindro el polo de una barra imantada, se observan en el galvanómetro los efectos de una corriente inducida, que cesan inmediatamente, y se presentan en sentido inverso al separar la barra imantada.

Puede hacerse tambien el experimento con la doble hélice, es decir, con una corriente inductora que provenga de una pila, conservando dentro al mismo tiempo el cilindro de hierro dulce. Los efectos entonces son mucho mas enérgicos; porque la corriente que atraviesa una de las hélices, no solo determina directamente en la otra una corriente de induccion, sino que imanta al mismo tiempo el hierro dulce, que por esta razon determina otra en el mismo sentido, pero mucho mas fuerte, que se agrega á la directa. Cuando la corriente cesa, el hierro se desimanta, y vuelve á tener lugar la doble accion sobre el alambre inducido, pero en sentido inverso.

Para convencerse de la gran energía que da á las corrientes inducidas la accion del hierro dulce, basta sacarlo del cilíndro hueco, en que están las dos hélices; estas producen solas los efectos de induccion, pero infinitamente mas débiles. En el curso de sus observaciones ha demostrado Faraday otro hecho que era de esperar despues de haber patentizado la accion de los imanes sobre los conductores en hélices. Consiste en la produccion de corrientes eléctricas inducidas por la fuerza magnética del globo, de la misma manera que se desarrollan por la accion de un iman ó de otra corriente eléctrica. No nos detendrémos en describir los experimentos con que ha demostrado este hecho el físico inglés; solo diré-

mos que de ellos resulta evidentemente que el globo terrestre obra como pudiera obrar un fuerte iman colocado en el interior de la tierra, en la direccion de la aguja de inclinacion, ó como una faja de corrientes eléctricas dirigidas de Este á Oeste al rededor del ecuador magnético. De ellos resulta tambien que es tan grande la facilidad con que el magnetismo terrestre desarrolla corrientes eléctricas en los cuerpos en movimiento, que es preciso deducir una consecuencia, que parece extraordinaria á primera vista, y es que un cuerpo conductor cualquiera no puede moverse en la superficie del globo sin que resulten en su masa corrientes de induccion.

La intensidad de las corrientes inducidas depende de varias circunstancias; pero principalmente de la longitud y del diámetro de los alambres de las hélices, y de la energía de los imanes ó de las corrientes inductoras, puntos sobre los cuales, en el estado en que se halla la ciencia, no puede darse ninguna regla precisa. En general, es ventajoso emplear alambres muy largos y aun añadir unas á continuacion de otras varias hélices; pero entonces es preciso, si no se verifica la induccion con un iman, emplear una corriente inductora, que provenga de una pila compuesta de muchos elementos; la determinacion de estos datos varia con la naturaleza de los efectos, y por consiguiente con la de los conductores que han de atravesar las corrientes inducidas, así como tambien con la longitud y el diámetro del galvanómetro que se use para observarlas.

Los fenómenos de induccion que hemos estudiado hasta ahora, son los que produce una corriente eléctrica sobre otro conductor inmediato al que le da paso; pero la experiencia ha demostrado que pueden producirse corrientes de induccion en el mismo conductor que trasmite la corriente inductora. M. Henry, de Princeton en América, habia observado que cuando se reunen los polos de una batería por medio de un alambre de cobre y dos cápsulas con mercurio, se obtie-

ne una chispa brillante al romper el circúito, si el alambre es de algunos metros de longitud. Jenkins habia notado tambien por su parte el mismo efecto, reuniendo los dos elementos de un electro-motor, es decir, de un simple par por medio de una hélice, en cuyo centro colocaba una barra de hierro dulce; no advirtiéndose efecto ninguno cuando las láminas estaban unidas por un simple alambre de cobre.

Faraday, despues de una larga série de estudios experimentales, llegó á demostrar que dicho efecto proviene de la presencia de una corriente inducida, en el momento en que se rompe el circúito; corriente que proviniendo de un solo par, es capaz, si se dispone convenientemente, de enrojecer y fundir un hilo de platino, de descomponer el agua y de desviar la aguja del galvanómetro. A esta especie de induccion se ha llamado *induccion de una corriente sobre sí misma*, y la corriente inducida ha recibido el nombre de *extra-corriente*. Basta tener presente que la *extra-corriente* se produce á la ruptura del circúito, para suponer que su direccion será la misma que la de la corriente inductora; así sucede en efecto, y en cuanto á la extra-corriente, que debe producirse en sentido contrario á la inductora, no puede ser percibida porque circula en el circúito, y no puede desarrollarse sino en el momento en que la corriente inductora está ya establecida; debe, sin embargo, producir un efecto: el de disminuir un poco en los primeros momentos la intensidad de la corriente inductora; y parece que así lo ha demostrado la experiencia, segun De La-Rive. Este físico se ha servido de la extra-corriente para aumentar la tension eléctrica de su elemento voltáico; y ha construido un aparato, que llama *condensador electro-químico*, por medio del cual descompone el agua con un elemento de Daniell, que solo, no produciria efecto ninguno. El aparato consiste (figura 131) en un cilindro de hierro dulce, que se coloca dentro de otro hueco de madera, al rededor del cual se revuelve un grueso alambre de metal aislado con seda. Cerca del cilindro y en comunicacion con el alam-

bre, hay un vástago de cobre tt' con su martillo de hierro *a*, que es atraido por el cilindro de hierro dulce en el momento en que, pasando la corriente por el alambre, lo imanta; arrastrado el vástago de cobre por el martillo, se interrumpe el circúito y se produce en el alambre una corriente de induccion que atraviesa la pila, y que reunida con la de esta, pasa al voltámetro y descompone el agua. Al interrumpirse el circúito, el hierro se desimanta y deja libre el martillo de hierro *a*, que baja con el vástago de cobre á cerrar otra vez el circúito.

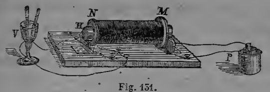


Fig. 151.

Las corrientes inductoras, al determinar en el conductor sometido á su influencia una corriente inducida, determinan tambien en esta efectos muy pronunciados de electricidad estática, como son las chispas á distancia, las conmociones, la carga de un condensador, etc.; de suerte que la corriente de electricidad dinámica se transforma, por decirlo así, en electricidad estática. Este hecho importantísimo ha sido indicado por Faraday y demostrado de la manera mas evidente por los experimentos de Masson y Breguet.

Entre otras de las observaciones hechas por estos dos físicos, citarémos la muy notable de que para obtener señales de tension eléctrica, no es necesario servirse de los dos extremos de la misma hélice.

Si se tienen dos hélices, la una atravesada por la corriente inductora y la otra bien aislada y colocada muy cerca de la primera, se experimenta una viva conmocion, cogiendo un extremo del alambre de la primera hélice y el extremo contrario de la segunda. Este experimento, dice De La-Rive, prueba que los dos alambres están en el momento de la interrupcion del circúito, en las mismas condiciones que dos

botellas de Leyden cargadas, á menos que la seda que rodea los alambres de las hélices no se cargue de electricidad estática, que puede conservar en virtud de su facultad aisladora. Nosotros adoptamos mas bien esa idea, y nos fundamos para ello en las observaciones del vizconde Du Moncel y en las que nosotros mismos hemos tenido ocasion de hacer con el aparato de Ruhmkorff, que como verémos cuando demos su descripcion, se compone de las dos hélices empleadas por Masson y Breguet, en las mismas condiciones, pero mejor dispuestas, de manera que los efectos son mas enérgicos.

Du Moncel, en su noticia sobre el aparato de Ruhmkorff, ha sido el primero que ha enunciado un hecho, que habrán tenido ocasion de observar los que se hayan servido de dicho aparato, y es que los dos extremos del conductor en hélice atravesado por la corriente inducida no tienen igual tension, pues el extremo interior puede tocarse impunemente sin observar fenómeno ninguno, mientras que el extremo exterior da chispas y produce fuertes conmociones cuando se le presenta un cuerpo conductor sin tocar otro punto del circúito, ni aun al alambre inductor, como hicieron Masson y Breguet; por consiguiente no es necesario suponer los dos alambres en las mismas condiciones que dos botellas de Leyden cargadas. El hecho de no presentar igual tension los dos extremos del alambre que recorre la corriente inducida, que no se explicaba satisfactoriamente, segun el mismo Du Moncel, lo ha sido á nuestro modo de ver con otro hecho observado en los experimentos en grande escala, que tuvimos ocasion de hacer sobre nuestro sistema de señales eléctricas, en el camino de hierro de Almansa. No nos es posible entrar en los detalles del experimento ni en las consideraciones á que da lugar; estas quedan explanadas en un trabajo especial, y por ahora nos contentarémos con decir que el hecho consiste en haber obtenido en el extremo interior de la hélice inducida una tension tan considerable como en el extremo exterior, de manera que produce los mismos efectos

y con igual intensidad; basta para ello aumentar la longitud, ó mejor dicho la masa del cuerpo conductor, que se presenta al polo interior; es decir, que la desigualdad de tension en ambos extremos no dependia mas que de la forma en que estaba dispuesto el aparato; lo cual ha venido á confirmar un trabajo de M. Laborde, que asegura haberlos construido de manera, que la tension se hace igual en ambos polos, con solo revolver el alambre inducido de modo que los dos extremos estén, por decirlo así, á igual distancia del centro de induccion. Esto está perfectamente de acuerdo con el hecho que habiamos observado y con la teoría que de él hemos deducido para explicar el fenómeno (1).

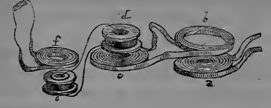


Fig. 132.

Hemos dicho que M. Henry, uno de los que mas se han ocupado en el estudio de la induccion despues del descubrimiento de Faraday, fué el primero que observó la induccion de una corriente sobre sí misma, pero el punto que mas ha estudiado el físico americano, es el desarrollo de las corrientes de induccion por las mismas corrientes inducidas. Para obtenerlo se valió de varias espirales planas en la forma representada en la figura 132. La primera espiral *a* conduce la electricidad de una pila, y produce una corriente inducida de primer órden en la espiral *b*, que pasa tambien por la espiral *c*, puesto que los cuatro extremos están unidos dos á dos, y produce una corriente inducida de segundo órden en *d*; esta corriente al pasar por *e*, desarrolla otra de tercer órden en *f*, y puede así prolongarse la série, aunque su intensidad decrece rápidamente á medida que son de un ór-

(1) Véase mas adelante la descripcion del aparato de Ruhmkorff.

den mas elevado. El profesor Abria ha completado estas investigaciones, sobre todo en la parte relativa á la intensidad y á la direccion de las corrientes, que como las inducidas de primer órden, son siempre inversas á las que las producen cuando se cierra el circúito, y marchan en el mismo sentido cuando se interrumpe.

Antes de pasar á explicar la teoría de la induccion, mencionarémos ligeramente el resultado de los trabajos de Dove sobre las corrientes de induccion, y particularmente sobre la influencia que ejercen en ellas la naturaleza y la disposicion de las masas metálicas que se introducen en el interior de las hélices destinadas á producir la induccion, ya sea valiéndose de corrientes inductoras, ya de descargas eléctricas, ya de la accion de los imanes.

Cuando se opera con *descargas eléctricas ordinarias*, la introduccion de un sólido de hierro en una de las hélices del inductor diferencial (instrumento de que se valió Dove para hacer los experimentos, y que seria prolijo describir), *debilita* la accion fisiológica, calorífica y de tension, ó sea electroscópica, de la descarga; pero *aumenta* el efecto de imantacion.

Cuando se emplean *corrientes voltáicas* en la induccion, la presencia de un sólido de hierro en una de las hélices aumenta indistintamente todos los efectos electroscópicos y de imantacion.

La introduccion de un manojo de alambres de hierro, obra como la masa sólida cuando se emplean corrientes voltáicas, es decir, que *aumenta* todos los efectos. Tambien los aumenta empleando descargas eléctricas, excepto el efecto calorífico, que *disminuye*.

Y por fin, cuando para imantar el hierro, en vez de corrientes ó descargas eléctricas, se hace uso de un iman, la accion de la corriente de induccion no aumenta porque se divida el hierro en alambres, ni disminuye porque se envuelva el manojo en una cubierta de materia conductora.

Resulta del estudio de todos los hechos enunciados, que la diversidad de efectos que manifiestan las corrientes de induccion proviene de una *diferencia en su duracion*, y no de una diferencia en su energía, y que la cubierta metálica que rodea un manojo de alambres ó la superficie continua de un cilindro macizo, sobre el cual se desarrollan tambien corrientes de induccion, no debilita, sino que retarda la accion de esta fuerza.

Por último, dirémos que Dove ha hecho un estudio especial de esta clase de corrientes que desarrollan otra inducida en el mismo conductor que atraviesan, á la cual ha dado el nombre de *contra-corriente*, para distinguirla de las *justa-corrientes* que son las que se desarrollan en circúitos paralelos al inductor.

Teoría de la induccion.

Sin recurrir á nociones y á cálculos tan profundos como los de Weber y Neuman, puede considerarse la induccion, dice De La-Rive, como el resultado de la descomposicion por influencia de la electricidad natural de cada partícula del conductor inducido, por las electricidades ya separadas de cada partícula correspondiente del inductor. Para eso es preciso admitir, como lo hicimos al dar la teoría de la pila, que la propagacion de la corriente se hace por una série de descomposiciones y de recomposiciones de las electricidades de las moléculas sucesivas.

Sea *A B* (figura 133) un conductor atravesado por una corriente en la direccion de *A B*, las partículas sucesivas de que se compone, tienen su electricidad natural descompuesta; las del signo — vueltas del lado de *A*, donde está el polo positivo del aparato generador, y las del signo + vueltas hácia *B*, donde se halla el polo negativo. En el momento en que las electricidades han sido separadas, se combinan de partícula en partícula, á saber: la negativa de *a* con la positiva del polo *A*; la negativa de *b* con la positiva de *a*, y así

sucesivamente hasta la positiva de *h*, que se combina con la negativa del polo *B*. Esta recomposicion intantánea es inmediatamente seguida de una nueva descomposicion, y esta de una recomposicion, y la sucesion de descomposiciones y recomposiciones es tan rápida, que siempre hay, como lo demuestra la experiencia, una tension eléctrica en cada partícula del conductor, de suerte que el estado en que se le ha representado en la figura, al cual llamarémos estado de *polarizacion*, puede considerarse casi como permanente.

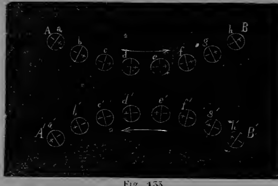


Fig. 155.

Sea *A' B'* un segundo conductor lo mas inmediato posible al primero, pero aislado de él. En el momento en que se hace pasar una corriente por *A B*, y en que por consiguiente se polarizan sus moléculas, se produce en *A' B'* una polarizacion molecular opuesta con el signo + de cada partícula enfrente del — de cada molécula de *A B*, y el — delante del positivo, como lo indica la figura. Resulta de esto que si en el momento en que *A B* es invadido por una corriente, las dos extremidades de *A' B'* se reunen por un conductor tal como el alambre de un galvanómetro, el + de la molécula *a'* se combina al través de este conductor con el — de la molécula *h'*, y produce así una corriente instantánea dirigida de *A* á *B* en el alambre inductor *A B* y de *B'* á *A'* en el alambre *A' B'*, es decir, en sentido contrario á la corriente inductora. Si en vez de reunir las extremidades *A'* y *B'* por un conductor, se pusiera en contacto con los platillos de un condensador *A'* le daria una carga de electricidad positiva, y *B'* de electricidad negativa.

En el momento en que *a'* ha perdido su electricidad posi-

tiva y h' la negativa, la negativa de a' se encuentra disimulada por la positiva de b', y así sucesivamente hasta la negativa de g', que queda disimulada por la positiva de h'; estas electricidades no se neutralizan porque están retenidas por las electricidades opuestas de las partículas de $A B$; pero en el momento en que la corriente cesa de pasar por $A B$, si las extremidades A' y B' están unidas por un conductor, la electrecidad negativa de a' se reune con la positiva de h', y al mismo tiempo las electricidades contrarias de cada una de las partículas $a' b' c' d' e' f'$ y g' se combinan, y resulta una corriente que va de B á A en el conductor $A B$, y de A' á B' en el alambre $A' B'$. Así $A' B'$ está atravesado en este caso por una corriente dirigida en el mismo sentido que la corriente inductora.

El estado de tension eléctrica en que se encuentra el alambre $A' B'$ mientras que la corriente recorre el alambre $A B$, es el que Faraday habia llamado *electro-tónico;* y la cesacion de este estado produce la segunda corriente de induccion mientras que su creacion habia producido la primera. Se concibe por la teoría que precede, que la tension eléctrica de las moléculas extremas será tanto mas fuerte cuanto mas largo sea el alambre inducido; porque si es corto, las dos electricidades acumuladas en sus dos extremos se reunirán mas fácilmente al través del alambre mismo; por otra parte, para producir una corriente enérgica, es preciso que el dicho alambre sea buen conductor, á fin de que la descomposicion de las electricidades naturales de cada una de sus moléculas y su recomposicion sean mas fáciles, y se haga, por consiguiente, mas de prisa y en mayor proporcion. En la teoría que acabamos de dar, añade De La-Rive, la produccion de las dos corrientes instantáneas de induccion es enteramente semejante á lo que pasa en la carga y descarga, llamada por cascada de varias botellas de Leyden consecutivas, cuya armadura interior comunica en cada una con la exterior de la precedente.

Aunque no son las páginas de este libro un lugar á propó-

sito para discutir la bondad de las opiniones de un autor, no podemos menos de hacer algunas reflexiones acerca de la teoría que acabamos de trascribir, y exponer, lo mas brevemente posible, la que nos ha sugerido un estudio detenido de esta materia. No hemos querido dar aisladamente la teoría de De La-Rive, porque no nos satisface siempre su explicacion, deja oscuros algunos puntos, y creemos que la materia es demasiado interesante para no tratar de aclararla; no podiamos por otra parte hacer lo mismo con la nuestra, porque por mas fuertes que sean nuestras convicciones, nos hemos propuesto presentar los hechos fundamentales de la electricidad, explicándolos de la manera mas generalmente admitida. Exponiendo ambas teorías á la vez, no puede resultar otro inconveniente que el de haber ocupado un momento mas la atencion de nuestros lectores.

Admitimos con De La-Rive que la propagacion de la corriente se hace en el alambre $A\ B$ (figura 133) por una série de descomposiciones y recomposiciones de las electricidades de las moléculas, que producen el *estado* de *polarizacion*, casi permanente. Admitimos tambien la *polarizacion molecular opuesta*, que se produce en el alambre $A'\ B'$; pero no creemos que la corriente inversa á la primaria ó inductora sea efecto de la combinacion al través de un conductor de la electricidad + de la primera molécula a' con la electricidad negativa — de la última h'; sino que es simplemente efecto del movimiento que se produce en cada molécula en direccion de B' á A' al verificarse la primera descomposicion en el inductor $A\ B$; en una palabra, que la polarizacion no es *casi*, sino *permanente* en el alambre inducido, y no hay en él descomposiciones y recomposiciones sucesivas, que es lo que constituye la corriente dinámica.

Si se considera que en el alambre inducido no hay una accion electro-motriz que provoque esas recomposiciones y descomposiciones; que el estado de polarizacion no es producido sino por la influencia que disimula la electricidad en estado

de tension; que varias causas, como los medios interpuestos entre los dos conductores, influyen en la accion de la induccion, retardándola, y que la electricidad de la pila, ó sea la accion electro-motriz, debe haber encontrado mas resistencia y haber sido mas lenta, por consiguiente, en la primera descomposicion de las electricidades naturales de cada molécula que en las sucesivas, no es necesario hacerse mucha violencia para suponer que la electricidad en el conductor inducido no pueda seguir los rápidos movimientos que se verifican en cada molécula del alambre inductor, y permanezca en el estado de polarizacion en que lo dejó la primera descomposicion, es decir, en un verdadero estado de tension eléctrica; pero sin las propiedades de la electricidad dinámica ó en movimiento. Esta hipótesis explica el estado *electro-tónico*, que se concibe con menos dificultad si lo comparamos á un fenómeno óptico: el de un espacio ó línea recorrida con gran velocidad por un punto luminoso; cada punto de esa línea es y deja de ser luminoso, y sin embargo, no se presenta en nuestra retina la impresion del cambio, por la velocidad con que tiene lugar.

Explicada la corriente inversa á la primaria inductora y el estado *electro-tónico*, ó *electro-estático* como propondriamos que se le llamase, es fácil darse cuenta de cómo tiene lugar la corriente inducida que se dirige en el mismo sentido, cuando se rompe el circúito inductor. No como lo explica De La-Rive; porque se produciria una corriente en sentido contrario de la que debe resultar y da la experiencia, si no recurriera á la destruccion de la electricidad positiva $+$ de a' y á la negativa $-$ de h'; eliminacion que nos parece cuando menos oscura. En nuestro concepto, tan luego como cesa la accion electromotriz de la pila, no existiendo ya la polarizacion en el alambre inductor AB, no debe existir tampoco en el $A'B'$, vuelven á recomponerse las electricidades de sus moléculas, y se verifica un movimiento en cada una, cuya suma constituye una corriente que va de A' á B', puesto que esa es la direccion que toma la electricidad positiva, contraria á la que habia tomado

en la polarizacion, y en el mismo sentido que la corriente inductora.

Expuestas estas teorías del caso mas general y sencillo de la induccion, del que se ha presentado como fundamental, es inútil entrar en el de las corrientes producidas por los imanes y demás que le son semejantes, porque la misma teoría los explica.

MAGNETISMO POR ROTACION.

Pasemos á tratar del *magnetismo por rotacion;* hecho que como hemos indicado, fué conocido antes del descubrimiento de Faraday. El primer experimento que ha demostrado que el movimiento es un medio de desarrollar magnetismo ó corrientes eléctricas en todos los cuerpos (accion que no debe confundirse con la que habia descubierto Coulomb y de que hablamos en el capítulo III), se debe al ilustre Arago. Los fenómenos de que vamos á tratar son exclusivamente debidos al movimiento, es decir, á la diferente posicion que ocupa la causa que obra con respecto al cuerpo sobre el cual ejerce su accion; fenómenos que han recibido el nombre de *magnetismo por rotacion,* por la manera con que se pusieron en evidencia.

Arago observó en primer lugar, que haciendo oscilar una aguja imantada, libremente suspendida, en una caja de cobre circular, cuyo fondo y rebordes estuvieran muy cerca de la aguja, la amplitud de las oscilaciones disminuia rápidamente, y estas cesaban muy pronto, como si el medio en que se verificaba la oscilacion se hubiera hecho mas denso; pero que al mismo tiempo el cobre no influia en la duracion de cada oscilacion, sino solo en la amplitud. Haciendo oscilar despues la aguja sobre planos de sustancias diferentes y á distancias variables, observó otro hecho que Seebeck ha confirmado, y es el de que la distancia disminuye considerablemente la intensidad del efecto, y que los metales obran con mas energía que la madera, el vidrio, etc.

A este experimento sucedió otro sugerido por la idea de ver si la plancha que tenia la propiedad de disminuir la amplitud de las oscilaciones, sin alterar su duracion, no arrastraria consigo la aguja cuando se pusiera en movimiento. Arago verificó tambien este hecho valiéndose del aparato representado en la figura 134, que es un disco de cobre *A B*, sobre el cual se suspende una aguja imantada por medio de un hilo sin torsion, de manera que el centro de la aguja venga á parar exactamente sobre el centro del disco; si se pone este en rotacion despues de haber interpuesto una lámina de vidrio ú hoja de carton, para que el aire agitado no influya sobre la aguja, se observa que esta se desvia de su posicion normal en sentido del movimiento, y forma con el meridiano magnético un ángulo mas ó menos grande, segun la velocidad que se dé al disco; si la rotacion es muy acelerada, la aguja acaba por dar vueltas con el disco mismo.

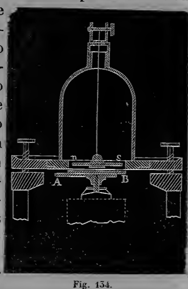


Fig. 134.

Segun las observaciones de Arago, confirmadas despues por Babbage, Herschell, Harris, Barlow y otros que se valieron de un método diferente, la fuerza disminuye rápidamente con la distancia de la aguja al disco, en una relacion segun parece mayor que el cuadrado de dicha distancia; los ángulos de desviacion son entre ciertos límites proporcionales á la velocidad, y se disminuye considerablemente el poder del disco de cobre, surcándole con hendiduras en el sentido de sus radios; estas soluciones de continuidad, que apenas alteran la masa, influyen, sin embargo, extraordinariamente en la intensidad de la accion, hasta el punto de que un ligero disco de cobre, suspendido sobre un fuerte iman en rotacion, eje-

cutaba seis revoluciones en 55″, y cortado en ocho partes en la direccion de los radios, necesitó 121″ para hacer el mismo número de revoluciones; soldadas con estaño las partes separadas, el disco volvió á dar las seis revoluciones en 56″, es decir, casi en el mismo tiempo que cuando no se habia cortado.

Uno de los físicos que mas ha trabajado sobre este asunto, M. Harris, ha encontrado que no solo existen grandes diferencias entre los cuerpos, en cuanto á la facultad que poseen de arrastrar la aguja, sino tambien en cuanto á la propiedad que tienen de interceptar esta accion, y ha reconocido que el hierro y las sustancias magnéticas no son las únicas que pueden detener el efecto del magnetismo por rotacion.

La observacion de otro de los hechos mas importantes que se conocen en esta materia es debido á Ampere y á Colladon, que han encontrado que en todos los experimentos del magnetismo por rotacion, podia sustituirse el iman con una hélice atravesada por una corriente eléctrica, estableciendo así una nueva analogía entre los flúidos eléctrico y magnético.

Barlow ha estudiado la accion que ejerce sobre la aguja imantada una esfera de hierro hueca ó maciza en movimiento, y los efectos obtenidos dependen de la influencia combinada que ejercen sobre el globo, el magnetismo terrestre y la aguja imantada. Pero el hecho mas importante establecido por el mismo observador, es la gran diferencia que hay en la accion segun sea la esfera maciza ó hueca. La diferencia es completamente nula cuando el globo y la aguja están en reposo, lo cual proviene, como hemos dicho ya, de que la fuerza magnética ordinaria se halla limitada á la superficie; pero no sucede lo mismo cuando hay movimiento.

Antes del descubrimiento de Faraday se imaginaron varias teorías para explicar los fenómenos del magnetismo por rotacion, entre otros Poisson, que habia ya sometido al análisis matemático los trabajos de Coulomb sobre el magnetismo, y

trató de explicar los nuevos fenómenos por la misma teoría; pero ahora, como ya hemos dicho, puede explicarse por los efectos de induccion.

Cuando un disco de cobre gira debajo de una aguja imantada, móvil al rededor de su centro, se manifiestan corrientes de induccion en diferentes sentidos en el disco; porque en las partes que se alejan de los polos, las corrientes son directas, y en las que se acercan son inversas, pero las acciones son muy complicadas, porque debe haber corrientes en un gran número de direcciones. La accion combinada de estas sobre la aguja móvil debe tender á darle un movimiento que la experiencia ha demostrado ser en la direccion en que gira el disco.

Faraday ha sido el primero que se ha asegurado por medio de experimentos de que habia corrientes eléctricas en sentido de los rádios del disco. Para lo cual ha hecho girar un disco de cobre entre los polos de un fuerte iman (figura 135), y haciendo tocar los dos extremos del alambre de un multiplicador, uno al centro y otro á la circunferencia del disco, ha resultado una corriente eléctrica continua.

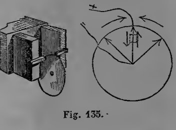


Fig. 135.

Nobili y Antinori han probado tambien con experimentos la existencia de corrientes eléctricas inducidas en varias direcciones. A este efecto han fijado en los dos extremos del alambre de un galvanómetro dos hilos adelgazados en su extremo, y los han aplicado sobre diferentes puntos del disco puesto en movimiento, con el objeto de recoger las corrientes que pasan por dichos puntos. Este experimento ha demostrado que por la parte inferior del disco, en los puntos que entran bajo la influencia magnética, se desarrolla un sistema de corrientes contrarias á las del iman, y que sucede lo contrario en la parte superior del disco.

Matteucci ha analizado el fenómeno en sus diferentes condiciones de la misma manera, pero mas completamente que Nobili y Antinori. El método empleado por este físico consiste en hacer girar verticalmente un disco de cobre bien plano, bajo la influencia de los dos polos de un electro-iman, cuyas caras polares se acercan todo lo posible al disco sin ponerse en contacto con él, y en tocar despues sus diferentes puntos por medio de conductores ó sondas que comunican con los dos extremos del alambre de un multiplicador, y se hallan colocadas á distancias iguales.

Los resultados que ha obtenido están representados en la figura 136; *N* y *S* indican la posicion de los dos polos del man fijo. Despues de haber demostrado que el disco está mantenido por induccion en el mismo estado eléctrico en que se halla una chapa metálica en comunicacion con los dos polos de una pila, encuentra en el disco, como en la chapa, líneas de corriente nula, que están indicadas con los números 1, 2, 3, 4 y 5. Estas líneas se repliegan cerca del borde, de manera que lo cortan, ó asoman á él siempre normalmente. En cuanto á las corrientes eléctricas, ó sean las líneas en que las sondas acusan el máximum de electricidad, cortan siempre normalmente las líneas de corriente nula, y están rerepresentadas en la figura por puntos. La línea circular número 6 separa los dos estados eléctricos opuestos, y Matteucci la llama línea neutra y de *inversion*, y es análoga á la recta que en una chapa atravesada por una corriente eléctrica, corta por la mitad la línea que une los polos de la pila. *E F* es otra línea neutra, que varia de lugar proporcionalmente á la rotacion.

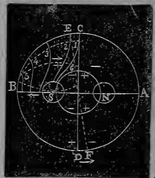


Fig. 136.

Es fácil comprender ahora la influencia que ejercen en los fenómenos del magnetismo por rotacion las soluciones de con-

tinuidad del disco; si disminuyen la accion en proporcion á su número, consiste en que se oponen á la circulacion de las corrientes de induccion, modificando el número y la direccion; basta en efecto, como se ha dicho, soldar las hendiduras con un metal conductor para restablecer los circúitos interrumpidos.

En cuanto á la diferencia de fuerza observada entre los discos hechos de diferentes metales, se explica igualmente por la diferencia que existe entre ellos como conductores, y por consiguiente, al grado de dificultad mas ó menos grande que presentan á la circulacion de las corrientes inducidas. Faraday ha confirmado esta explicacion con experimentos, y Christie ha conseguido deducir el poder conductor de las diferentes sustancias, por la fuerza con que cada una de ellas arrastra la aguja magnética en su movimiento de rotacion.

De la misma manera que en la electricidad estática y en la electricidad galvánica, dejamos para el fin de sus capítulos respectivos el tratar de los generadores eléctricos fundados en los principios que se habian explicado en ellos, así en el presente terminarémos dando la descripcion de los aparatos *magneto-eléctricos*, ó sean los generadores de electricidad en que este flúido se desarrolla por la induccion de los imanes ó de las corrientes eléctricas; pero antes darémos á conocer algunos de los aparatos accesorios, que son, por decirlo así, órganos esenciales de las máquinas de induccion y de la mayor parte de las aplicaciones de la electricidad; los principales son los *reótomos* ó *interruptores* de corrientes, y los *reótropos*, *inversores* ó *conmutadores*.

Reótomos ó interruptores.

La palabra *reótomo*, que viene de las dos griegas *corriente* y *cortar*, se ha aplicado por los físicos á los aparatos, ó mejor dicho, á los órganos de los aparatos que sirven para interrumpir y restablecer un circúito ó una accion eléctrica, ya sea

á mano, ya por la accion misma de la corriente. Du Moncel, en su *Tratado de aplicaciones de la electricidad*, establece una diferencia entre los reótomos y los interruptores. Segun él, son interruptores los órganos que pueden establecer ó romper un contacto metálico, del cual depende la circulacion de una corriente, y llama reótomos á los órganos del aparato que sirven para mantener una accion eléctrica, cuando la causa que la produjo deja de existir, ó para hacer desaparecer la accion eléctrica cuando la causa que la motiva subsiste aun; pero por mas que nos parezca fundada esta division, no nos es posible seguirla en este trabajo, destinado á servir de introduccion para comprender las obras y descripciones de otros físicos que se valen indiferentemente de las palabras *interruptor* ó *reótomo*.

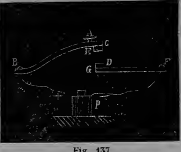


Fig. 137.

Los reótomos son conjuntivos ó disyuntivos, segun se destinen á establecer ó á romper el circúito; y pueden estar dispuestos para verificar ambas cosas; los hay simples y múltiples, y unos exigen para obrar la mano del hombre, mientras que otros tienen un movimiento automático cualquiera.

El reótomo conjuntivo mas sencillo que se puede dar es el representado en la figura 137. Consiste en un resorte *C B* metálico, con una cabeza *E* de platino si es posible, y un boton de marfil *A*, sobre el cual no hay mas que apoyar el dedo para que la cabeza *E* toque la pieza *D*, tambien de platino, y se establezca la comunicacion entre los dos alambres que ha de atravesar la corriente.

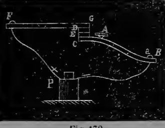


Fig. 138.

La figura 138 representa un reótomo disyuntivo, de construccion semejante al conjuntivo que se acaba de explicar, y

en el cual basta apoyar el dedo sobre el boton *A* para interrumpir la corriente que pasa por los alambres.

Otra forma de interruptor es la representada en la figura 139; consiste en una rueda dentada metálica, en que los intersticios de los dientes están reemplazados por otros dientes de madera, marfil ó cualquiera sustancia poco conductora de la electricidad. Un resorte *c d* apoya contra la circunferencia de la rueda, y cada vez que toca á un diente metálico, establece el circúito poniendo en comunicacion el alambre que viene á parar al eje de la rueda, y el que termina al pié del resorte. Cuando por el contrario, este se halla en contacto con un diente de madera, no hay comunicacion, y por consiguiente, no circula la corriente.

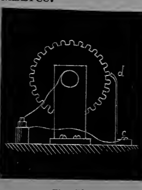


Fig. 139.

El condensador de De La-Rive, que hemos explicado ya, es un verdadero reótomo ó interruptor. Vemos, en efecto, en la figura 140, donde lo hemos representado bajo otra forma, que poniendo en comunicacion los dos extremos del alambre de un electroiman, uno con el polo positivo de una pila, y el otro con el pié de un martillo metálico, cuya cabeza es de hierro dulce; poniendo el otro polo en contacto con una pieza *b* que toca al martillo *t m*, por la accion del resorte *a*, se establece una corriente al través de la hélice *A B*, se imanta el hierro *d e*, atrae el martillo *m*, venciendo la resistencia del resorte *a*, y lo separa de la pieza *b*; queda entonces interrumpida la corriente, se desimanta el hierro *d e*, el resorte obliga al martillo á ponerse en contacto con la pieza *b*; y vuelve á establecerse la corriente y á interrumpirse indefinidamente, mientras la pila marcha y los contactos metálicos sean perfectos.

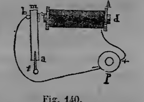


Fig. 140.

No acabariamos si hubiéramos de dar á conocer todos los reótomos ó interruptores que se han ideado; mas ó menos buenos, mas ó menos complicados, segun el objeto á que se han destinado; nos contentarémos, pues, con describir tan solo uno mas, que por su sencillez y la energía con que obra, se emplea frecuentemente en los gabinetes de física.

Consiste en una rueda metálica *R* (figura 141), con varias agujas en la circunferencia, cuya punta puede introducirse en el mercurio de una cápsula *A B*, ó bien en vez de la rueda puede ser un eje atravesado por una simple aguja: poniendo en comunicacion los dos polos de la pila, uno con el mercurio y otro con el eje ó con la rueda, no se cerrará el circúito sino cuando una de las agujas entre en el mercurio, y se interrumpirá cuando salga, de suerte que basta ponerla en movimiento para establecer é interrumpir la corriente con la rapidez que se quiera.

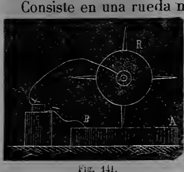


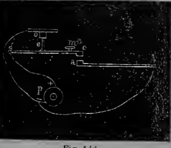
Fig. 141.

Reótropos, conmutadores ó inversores.

Los conmutadores ó inversores han recibido tambien el nombre de *reótropos*, de las dos palabras griegas *corriente* y *cambiar*, y como los interruptores, varian infinitamente segun la aplicacion que se les dé.

El objeto de los conmutadores puede ser, ya el de hacer pasar la corriente eléctrica de un circúito á otro, ya el de invertir los polos, ó sea la direccion de la corriente en el mismo circúito.

Casi todos los interruptores pueden convertirse en conmutadores con muy ligeras modificaciones.


Fig. 142.

Así vemos el conmutador de la figura 142, que no es en realidad sino el interruptor de la figura 137, al cual se le ha añadido el apéndice metálico *e*, con el que puede tocar la pieza *o*, tambien metálica. De esa manera la corriente eléctrica, que parte de la pila *p*, pasa por el circúito *p d o e*, cuando el conmutador se halla en la posicion que representa la figura; pero en el momento en que se apoya el dedo sobre el boton de marfil *m*, la pieza *e* se separa de *o*; *c* y *a* se tocan; queda interrumpido, por consiguiente, el primer circúito y la corriente eléctrica pasa por el que se establece en *p d c a b*.

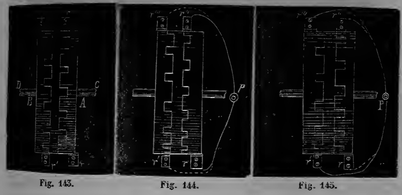


Fig. 143. Fig. 144. Fig. 145.

La figura 143 representa un conmutador, que consiste en dos ruedas dentadas, aplicadas á un cilindro de materia aisladora; las dos ruedas tienen los dientes alternados; es decir, que los macizos ó metálicos de la una corresponden á los huecos ó aisladores de la otra; y estos últimos son menores que los metálicos, aunque siempre mayores que la superficie de los resortes *r′ r″*, que están en contacto con ellas; de esa manera se evita que el circúito esté nunca enteramente abierto, y se produzcan las chispas que da la extra-corriente, segun hemos visto (pág. 281). El efecto de este conmutador se comprende haciéndose cargo de que los resortes ó frotadores *r* y *r‴* apoyan siempre sobre la parte metálica de las ruedas que no se comunican entre sí, y que cuando el resorte *r′* está en un hueco, el *r″* está en un diente metálico, y vice-versa, de

manera que unas veces pasa la corriente por el circúito p r'', A r, como en la figura 144, y otras por el p r''', B r' como en la figura 145.

Cuando lo que se desea no es cambiar la corriente de un circúito á otro, sino invertir su direccion, es preciso disponer de otra manera los reótropos.

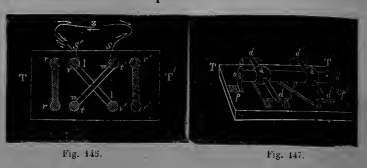


Fig. 146. Fig. 147.

El primero de esta especie que se ha conocido es el de Ampere, representado én las figuras 146 y 147. En una tabla T T', se abren dos canales ó ranuras r r' de algunos milímetros de profundidad, y cuatro cavidades semejantes v v' t t' en comunicacion diagonal por dos cintas de cobre l l' m m' que no se tocan la una á la otra. Despues de haber preparado las cavidades y la ranura, se introduce el alambre positivo de la pila en la ranura r y el negativo en la r', la corriente no pasará por el circúito S z S' mientras no se establezca una comunicacion entre cada una de las dos ranuras y una de las cavidades v v' ó t t', adonde vienen á parar los dos extremos del alambre que forman el circúito, pero en el momento en que se establezca dicha comunicacion, pasará la corriente, y pasará de S á S', ó de S' á S segun la ranura con que se comunique cada una de las cavidades. Comunicando por ejemplo r con v y t' con r', la corriente pasará de S' á S, porque S' estará en contacto con el polo positivo de la pila; si por el contrario se quiere que la corriente pase de S á S', habrá que comunicar r con t y v' con r'.

Pàra conseguir esto se valió Ampere de la pieza represen-

tada en la figura 147, que consiste en un eje *a a′*, que gira sobre los apoyos *o p o′ p′*; en este eje hay encajadas dos palancas *d d d′ d′*, provistas en cada extremo de un arco metálico que puede entrar al mismo tiempo en una de las ranuras y en una de las cavidades, pero siempre del mismo lado de la tabla, de modo que basta inclinar el eje hácia un lado ó hácia el otro para que queden en comunicacion de la manera arriba expresada, y cambie la direccion de la corriente en el circúito *S z S′*.

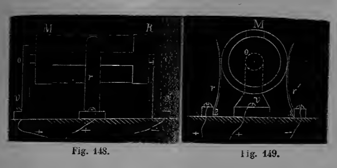


Fig. 148. Fig. 149.

Otro inversor de un uso cómodo, empleado en un gran número de aparatos construidos por Ruhmkorff, es el de las figuras 148 y 149 visto de costado y de frente. Se compone de un cilindro *M R* de marfil, cuya superficie está en parte cubierta por dos chapas de metal, que no se comunican entre sí, pero cada una de ellas está en contacto metálico con uno de los soportes en que se apoya el eje *o o* del cilindro. Dos resortes *r r′* apoyan siempre contra una de las chapas de metal y están en comunicacion con los dos extremos del alambre del circúito por donde ha de pasar la corriente. Ahora bien, se concibe que esta no circulará si los resortes apoyan sobre la parte no conductora de la superficie del cilindro, pero pasará en el momento en que, dándole vuelta, las chapas se hallen en contacto con los resortes, y bastará que alterne el contacto de las chapas con los resortes, para que varie la direccion de la corriente, puesto que de esa manera será el soporte *V* ó el *V′* el que se ponga en comunicacion, ya con el

uno ya con el otro resorte, y ambos comunican con un polo diferente.

El último de los conmutadores que describirémos es el de la figura 150, usado generalmente en las líneas telegráficas de los caminos de hierro. Consiste en dos reglas de cobre *A B*, fijas á una plancheta de madera *T T* por medio de dos tornillos ó botones *b b'*; dichas reglas tienen dos de sus extremos unidos por una pieza *E F* provista de un puño ó mango *P* de marfil, y los otros dos extremos frotan contra la plancheta, y por consiguiente contra tres hojas de metal embutidas en ella *c d g*, llamadas *contactos*, colocados en la circunferencia que describe cada una de las reglas *y a*, á una distancia unas de otras igual á la que separa las dos reglas. Los polos de la pila vienen á comunicar con los tornillos *C* y *D*, en comunicacion el primero con la hoja *d* y el segundo con la *g*, que está tambien á su vez en comunicacion metálica con la *c*. Los dos extremos del circúito en que se quiere invertir la corriente vienen á parar á los tornillos *b* y *b'*, de suerte que la corriente saldrá por *b* y entrará por *b'*, ó vice-versa, segun se hallen las reglas sobre los contactos *c* y *d*, como en la figura, ó sobre *d* y *g*; para lo cual no hay mas que hacer girar las reglas por medio del puño *P*.

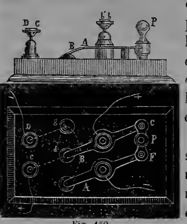


Fig. 150.

Conocido ya el principio en que se fundan los reótomos ó interruptores y los reótropos, inversores ó conmutadores, que todos estos nombres tienen, será fácil comprender su efecto en las máquinas electro-magnéticas, en cuya descripcion vamos á entrar, aunque hayan recibido una nueva disposicion no comprendida entre las varias ya explicadas.

MÁQUINAS DE INDUCCION.

La primera máquina magneto-eléctrica que se ha construido se debe á Faraday. Consiste en un disco de cobre que gira en un plano vertical, entre los dos polos opuestos de un iman (figura 151). Haciendo comunicar los dos extremos del alambre de un galvanómetro, con el eje el uno, y con la circunferencia del disco el otro, la desviacion de la aguja indica el

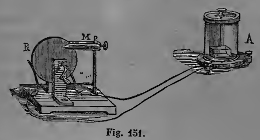


Fig. 151.

desarrollo de una corriente constante en el sentido de la rotacion; pero esta corriente es de muy poca intensidad, y no puede producir descomposiciones químicas, conmociones, ni ninguno de los efectos de la electricidad estática. Lo mismo sucede, al parecer, con todas las corrientes de induccion que origina el magnetismo terrestre en los discos ó globos metálicos puestos en rotacion bajo su influencia; á pesar de que la máquina *magneto-electro-telúrica*, construida bajo este principio por Palmieri y Linari, demostraria lo contrario, pues produce chispas bastante fuertes y todos los efectos caloríficos, químicos y fisiológicos de las máquinas que vamos á describir; no puede, sin embargo, reemplazarlas con ventaja. Consiste dicha máquina en un marco elíptico de madera, al rededor del cual se enrolla un alambre de cobre de tres á cuatro milímetros de diámetro y de varios metros de longitud. Se imprime un movimiento de rotacion al marco al rededor de su eje, teniendo cuidado de colocar este en una direccion casi perpendicular á la del meridiano magnético, y se ob-

tienen corrientes de induccion que producen los efectos indicados.

Para obtener corrientes inducidas de alguna intensidad, es preciso desarrollarlas en alambres bastante largos que formen hélices, y que los conductores que unan sus extremos presenten igual ó poco mayor resistencia al paso de la electricidad que los mismos alambres de la hélice, porque de esa manera, dice De La-Rive, la corriente puede atravesarlos sin retroceder por el alambre mismo en que se ha verificado la induccion.

Como hemos visto que la induccion puede ser ocasionada por imanes ó por corrientes voltáicas, y las máquinas de induccion que se conocen se fundan en uno de los dos medios, ó en ambos combinados, las dividirémos en dos grupos al describirlas, reuniendo en el primero, bajo el nombre de máquinas *magneto-eléctricas*, aquellos aparatos en que se desarrolla la electricidad con el auxilio solo de imanes permanentes; y en el segundo, con el nombre de *aparatos electro-magnéticos*, todos los que emplean la induccion galvánica, ya sola, ya combinada con la accion de los imanes.

Máquinas magneto-eléctricas.

Máquina de Pixi. El primero que tuvo la idea de construir una máquina de induccion, con las condiciones que acabamos de indicar, para producir corrientes enérgicas, y de valerse de la rotacion de una de sus partes principales, como medio de interrumpir el efecto inductor y obtener así corrientes de induccion casi continuas, fué Hipólito Pixi, que en 1832 expuso en la Sorbona el gran aparato que sirvió para el curso de Ampere. Dicha máquina, en cuyos pormenores no entrarémos, porque fundadas en el mismo principio se han hecho otras mas perfectas, que describirémos detalladamente, consiste en un electro-iman en forma de herradura, frente á cuyos polos se colocan los de un iman permanente; haciendo girar este, consiguió Pixi imantar y desimantar

alternativamente el hierro dulce del electro-iman, y producir por consiguiente en el alambre de las hélices una série de corrientes de induccion.

Para obtener la corriente siempre en el mismo sentido habia adoptado al aparato un conmutador de Ampere, el único que se conocia entonces.

Stohrer, famoso mecánico de Leipsig, modificó la máquina de Pixi, añadiéndole un conmutador que reemplazaba ventajosamente al de Ampere; á pesar de esta modificacion, la máquina de Pixi es sumamente incómoda; y ha sido reemplazada por otra mucho mas sencilla y no menos enérgica.

Máquina de Saxton (figura 152). Este aparato se compone de un poderoso iman en forma de herradura, fijo horizontalmente, delante de cuyos polos puede girar sobre un eje, tambien horizontal, un electro-iman de hierro dulce *D D'*, por medio de una polea puesta en movimiento por una rueda vertical *E E'* de gran diámetro, sobre la cual está fijo el manubrio *K*.

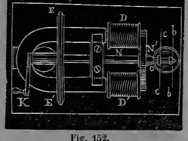


Fig. 152.

El electro-iman hace aquí las veces de una armadura, y por consiguiente se imanta cuando se aproxima á los polos del iman fijo y se desimanta cuando se aleja, produciendo en el alambre de las hélices arrolladas en él dos corrientes de induccion en cada caso. Saxton, despues de muchos experimentos, vió que la disposicion ordinaria de las hélices sobre el hierro de los electro-imanes no es la mas favorable para producir el máximum de efecto, porque estando arrollados en el mismo sentido los alambres de ambas, se producen al mismo tiempo dos corrientes en sentido opuesto, mientras que si se arrollan inversamente las dos hélices, las corrientes que se producen simultáneamente siguen la misma direccion. Con solo examinar la figura 152, y hacerse cargo

de lo que hemos dicho al principio de este capítulo y al fin del anterior sobre la teoría de los imanes y la manera de producir las corrientes de induccion, se comprenderá la exactitud de las observaciones de Saxton, y la necesidad de la modificacion que introdujo, arrollando los alambres de las dos hélices en sentido inverso la una de la otra (1). Esta y la de hacer girar el electro-iman, conservando fijo el iman permanente, han sido las dos variaciones principales introducidas por Saxton en la máquina de Pixi.

Para recoger la corriente creada en las hélices, ó sea para establecer la comunicacion entre las dos extremidades del alambre que las constituye, Saxton dispuso su aparato de la manera siguiente : el árbol ó eje en que se halla el electro-iman, tiene una prolongacion, á cuyo extremo se fija normalmente una aguja *b b* en una posicion conveniente con respecto á la de la armadura. Al lado de la aguja y en el árbol mismo, se adapta un cilindro de marfil *o*, que tiene un disco de cobre *c c*, al cual vienen á parar las dos extremidades exteriores de los alambres de las dos hélices; los otros dos extremos están soldados á las ramas mismas del electro-iman, de suerte que dichas ramas, el eje *N N'* y el disco, hacen de conductores, y la aguja *b* y el disco *c* pueden considerarse como los polos del aparato; por consiguiente, basta para obtener el efecto eléctrico continuo, reunir oportunamente el disco *c* con la aguja *b*. Esto se consigue, ya por medio de una cápsula llena de mercurio en que está sumergido siempre el disco *c* y toca y deja de tocar alternativamente la aguja, ya por medio de dos copas llenas tambien de mercurio adonde vengan á parar los extremos del circúito en que se quiera hacer pasar la corriente, y en las cuales pueden entrar el disco y la aguja.

El constructor francés Billant ha hecho algunas modificaciones en la máquina de Saxton, entre otras la de un con-

(1) Véase el *Tratado de aplicaciones de la Electricidad*, de Du Moncel, tomo primero, pág. 355, segunda edicion.

mutador sumamente sencillo, para obtener las corrientes de induccion dirigidas siempre en el mismo sentido; pero como la disposicion que ha dado Clarke á estos aparatos es mucho mas cómoda y se ha adoptado generalmente, pasarémos á describirla, y en ella harémos mencion detallada del conmutador.

Máquina de Clarke. Esta máquina, representada en la figura 153, no es en realidad sino la misma de Saxton, compuesta de un iman permanente en herradura *A* fijo, y delante del cual da vueltas el electro-iman *B B'*; pero el iman permanente, en vez de estar horizontal se halla verticalmente colocado, lo cual permite dar al aparato una disposicion mas cómoda y menos voluminosa. El electro-iman, como en la máquina de Saxton, encaja en el árbol horizontal *O*, que termina por un extremo en un conmutador, que describirémos, y por el otro en una polea de trasmision, que se pone en movimiento por medio de una cadena sin fin y de la rueda *R*.

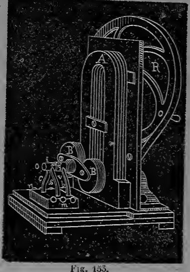


Fig. 153.

Las dos hélices del electro-iman están formadas de alambre de cobre, cubierto de seda y arrollado en el mismo sentido, como dijimos al hablar de la máquina de Saxton; la longitud y el grueso del alambre varia segun el efecto que se quiera producir; porque mientras mas largos y mas finos son los alambres arrollados, mas semejanza hay entre las propiedades de las corrientes de induccion y las de las pilas de alta tension ó las de la electricidad estática; así es que para este caso se suelen dar hasta 1,500 vueltas á los alambres de las hélices, y el electro-iman recibe el nombre de *armadura de intensidad*; pero cuando se quieren obtener

efectos semejantes á los de las pilas de gran superficie se emplea una *armadura de cantidad*, formada de cilindros de hierro dulce menos gruesos y un alambre de cobre de 40 metros solamente, pero mucho mas grueso; con la armadura de cantidad es con la que se consigue fundir el hierro y poner incandescente un hilo de platino.

Sea de una especie, sea de otra, el alambre de cada hélice tiene en comunicacion uno de sus extremos con el eje de rotacion, y por consiguiente se comunican entre sí; el otro extremo de cada alambre viene á terminar en una virola de cobre *q*, fija al eje, pero aislada por un cilindro hueco ó anillo de marfil.

Cuando el electro-iman da vueltas, las dos ramas se imantan alternativamente en sentido contrario bajo la influencia del iman *A*, y en cada hélice se produce una corriente inducida, que por la manera con que se halla arrollado el alambre, vienen ambas á reunirse en el eje de rotacion ó en la virola *q*, y cambian de direccion á cada semirevolucion, porque hay una imantacion y una desimantacion.

Con la máquina tal como la hemos explicado, se tendrian en un circúito cuyos extremos viniesen á pasar á la virola *q* y al eje *O*, corrientes alternadas en ambos sentidos; pero pueden obtenerse siempre en la misma direccion, añadiendo un conmutador compuesto de una segunda virola *v*, formada de dos piezas ó semi-anillos metálicos, aislados entre sí; pero en comunicacion con el eje el uno, con la virola *q* el otro, de modo que durante la rotacion del electro-iman, cada mitad de la virola *v* constituye un polo que cambia de signo á cada semirevolucion; poniendo dos láminas ó resortes metálicos *b* y *c*, una á cada lado de la virola, y que estén frotando constantemente contra ella, las corrientes pasarán por dichos resortes á las planchas de cobre *m* y *n*, que serán entonces los polos; pero allí tendrán ya siempre el mismo signo, porque los resortes que les trasmiten la corriente no la toman de la virola *v* sino durante la semirevolucion en que presenta el mis-

mo signo, y cambian en la otra semirevolucion, de manera que las planchas *m* y *n* están alternativamente en contacto con el eje ó con la virola *q*, segun el sentido de las corrientes; uniendo las dos planchas por medio de un conductor, se tendrá en él una corriente cuya direccion será constante.

El aparato de Clarke se utiliza las mas veces como máquina de conmociones, y es necesario abrir y cerrar el circúito inducido, para lo cual ha sido preciso añadir un interruptor al conmutador ya explicado. Consiste en una tercera lámina ó resorte metálico *a*, y dos apéndices *i*, aislados uno de otro sobre un cilindro de marfil, pero que comunican respectivamente con las piezas *v*. Cada vez que el resorte *a* toca uno de estos apéndices, cierra el circúito, poniendo en comunicacion los dos resortes *b* y *c*, si como se indica en la figura, está en contacto metálico por el pié con el *b*, y toca al apéndice de la pieza *v*, que está en contacto con el *c*, ó vice-versa. Cuando el resorte *a* no toca ninguno de los apéndices, el circúito se interrumpe; por consiguiente se abre dos veces, y se cierra otras tantas en cada revolucion.

Máquina de Page.—Difiere de las que hemos explicado en que el electro-iman que recibe la induccion, y da vueltas entre los polos de dos imanes fijos en forma de herradura, en vez de tener las ramas unidas, constituyendo un solo iman curvo cuando se imanta, forma dos imanes rectos, independientes uno de otro y montados sobre el mismo eje de rotacion. Este sistema está además cubierto por un cilindro de cobre, al cual se adapta la rueda que recibe la accion del motor.

El conmutador, llamado por el inventor *unitrep*, es doble y se halla montado sobre el eje de rotacion en los dos extremos opuestos de las hélices que constituyen los electro-imanes. Se compone de una virola de marfil, en la cual hay incrustados dos segmentos de plata diametralmente colocados y en relacion con las extremidades de los alambres de las hélices. Dos frotadores como los ya descritos en la máquina de

Clarke se apoyan contra cada *unitrep* ó virola, y distribuyen la corriente inducida á dos botones especiales.

Los imanes fijos se colocan uno frente á otro con los polos en oposicion; las hélices tienen los alambres arrollados en sentido inverso, segun hemos dicho ya; y como la accion inductora es simultánea en los dos electro-imanes, la inversion de las corrientes para pasar en la misma direccion por los frotadores, se verifica naturalmente por el hecho solo de la rotacion de los *unitreps*. En efecto, estos presentan á cada semirevolucion un segmento en relacion con una corriente inversa al de la otra semirevolucion, de suerte que cada frotador no está en contacto con él sino durante la media revolucion en que la corriente va en un sentido, tendrá siempre el mismo signo en cada uno de los polos, porque así pueden llamarse los cuatro botones ó tornillos en que terminan los frotadores, y será posible, por consiguiente, combinarlos á la manera de los polos de una pila, para acumular efectos eléctricos.

Máquina de Wheatstone. — La máquina que acabamos de describir es, como puede haberse observado, de doble efecto; la de Wheatstone puede llamarse de efecto múltiple; da una corriente mas continua y cuya intensidad es tal, que puede vencer la resistencia de los conductores mas largos con tanta facilidad como una pila fuerte.

M N O P Q R (figura 154) son seis imanes curvos, formados, si se quiere, de varias planchas superpuestas; y están dispuestos de manera que los polos de nombres contrarios de dos imanes consecutivos estén enfrente uno de otro. Los seis polos de un lado y los seis del otro están pues en dos líneas paralelas. *B B′* es un eje de rotacion comun á cinco sistemas de hélices dobles *D E F G H*, y paralelas á las líneas de los polos; gira libremente sobre dos gorrones *A A′* por medio de un piñon *Y*, que engrana con la rueda *J*, movida por el manubrio *M′*. Los cinco sistemas de dobles hélices, que forman otros tantos electro-imanes, están colocados de ma-

nera que el plano que pasa por el eje de rotacion *B B'* y los ejes de los dos cilindros de hierro dulce de cada hélice tenga para cada par una inclinacion diferente, y los cilindros de hierro dulce llegan así sucesiva, y no simultáneamente, á ponerse en presencia de los polos de los imanes adyacentes.

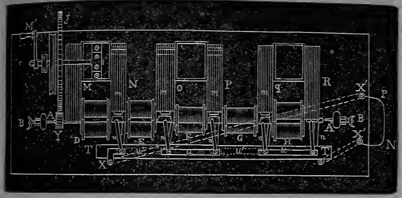


Fig. 154.

m m m m son unos discos pequeños, formados por dos semianillos circulares de laton, separados uno de otro y aislados del eje *B B'* por pedacillos de marfil convenientemente interpuestos. El plano que pasa por la hoja de marfil en cada uno de los discos, coincide con el plano que contiene el eje de rotacion y los dos ejes de los cilindros de las hélices. *T T* es una barra de madera paralela al eje *B B'*, á la cual hay fijas unas tiras metálicas *U U'*, separadas unas de otras; las *U* están fijas á la parte anterior de la barra y las *U'* á la parte posterior, y sus extremidades están provistas de resortes *W W W W;* cada dos de estos, como lo muestra la figura, apoyan sobre puntos diferentes de los anillos *m m*. El alambre de cada doble hélice es continuo; pero se arrolla en sentido opuesto sobre cada uno de los dos cilindros de hierro dulce, y sus dos extremidades están fijas á los dos semianillos metálicos del disco aislado.

Hé aquí còmo funciona la máquina: Los extremos del conductor *P N* que completan el circúito, están en comunicacion

con las dos últimas planchas U U por medio de los tornillos x x', y en todas las posiciones del eje de rotacion el alambre conductor que cierra el circúito, y todos los alambres de las hélices, excepto uno, cuando está en una posicion particular, forman un solo circúito continuo, de tal manera, que si el conjunto es atravesado por una corriente eléctrica, seguirá la direccion indicada por las flechas. Cuando el eje da vueltas, las hélices cambian de posicion con respecto á los imanes y las corrientes de induccion producidas cambian de direccion á cada semirevolucion, pero al mismo tiempo el resorte pasa de un semianillo al otro, y la corriente resultante sigue siempre la misma direccion en el alambre P N. La corriente nace para cada hélice en una posicion diferente del eje de rotacion, y empieza en cada una antes que haya cesado en las otras; la corriente que resulta es pues perfectamente continua, y P y N son en un todo semejantes á los polos de una pila. Importa observar que los resortes no deben nunca apoyar sobre el marfil solo, porque entonces la corriente se interrumpiria; es preciso pues disponerlos de manera que empiecen á tocar el segundo semianillo antes de dejar el primero.

Máquina de la fábrica de gas del cuartel de Inválidos de Paris. —Es la mayor de las máquinas magneto-eléctricas que se han construido hasta el dia, y se ha instalado con objeto de extraer el gas hidrógeno del agua. Si bien los resultados no han correspondido á las esperanzas, la máquina ha producido una cantidad de electricidad bastante grande para mantener encendidas algunas luces.

Esta máquina se compone de otras seis, por decirlo así, enteramente iguales, que contiene cada una cuarenta y ocho imanes fijos en forma de herradura, distribuidos en séries de seis al rededor de una circunferencia que tiene por centro el árbol motor, donde encajan cinco ruedas que contienen cada una diez y seis electro-imanes; al girar el árbol, los electro-imanes circulan entre dos séries consecutivas de imanes, y reciben por los extremos opuestos un efecto de in-

duccion doble. Cada rueda tiene su conmutador, semejante al que acabamos de describir en la máquina de Wheatstone; pero el anillo metálico donde se hace la inversion, en lugar de estar dividido en dos partes, se compone de ocho segmentos iguales, correspondiendo á las ocho posiciones de los imanes fijos, que, como se ha indicado, están al rededor de una circunferencia, formando una estrella de ocho rayos. Los frotadores tienen la forma de un martillo pequeño para salvar los inconvenientes del rozamiento, que de otro modo los gastaria en poco tiempo.

Las hélices de induccion, dispuestas normalmente al plano de la rueda que las soporta, están fijas á su circunferencia por abrazaderas de cobre sólidamente aseguradas. Como el movimiento de rotacion es muy rápido, y pasan con mucha velocidad de un iman á otro, los cilindros de hierro usados en los aparatos de Clarke, se han reemplazado por tubos de hierro con ranuras longitudinales, á fin de que se verifique mas pronto la desimantacion, y hacer que sea mas enérgica la corriente inducida. Además, para obtener tambien los efectos de cantidad, cada hélice se compone de cuatro alambres diferentes, cuyos extremos están reunidos y soldados á una laminita de cobre. Cuando se quiere obtener la electricidad de cantidad, estas laminitas comunican alternativamente con dos anillos metálicos, de manera que todos los extremos de los alambres del mismo órden estén en relacion con un solo anillo; estos se ponen en comunicacion con el conmutador de igual manera que se ha dicho para la máquina de Clarke. Cuando por el contrario, se quiere obtener la electricidad de tension, las láminas se reunen entre sí por séries, como los polos de una pila en tension, y disponiendo un conmutador á propósito, podria obtenerse á voluntad la electricidad de tension ó la de cantidad con la misma máquina.

El establecimiento galvano-plástico de Elkingtown, en Inglaterra, posee tambien un aparato electro-magnético, movido por el vapor, con el cual ha reemplazado las pilas que

se usan generalmente en las operaciones electro-químicas.

Máquina de Henley. Suele emplearse en Inglaterra un sistema de máquinas magneto-eléctricas, en que se separan las hélices de induccion de los polos del iman fijo, por medio de una palanca, en cuyo extremo se hallan montadas. Los efectos de esta máquina son muy enérgicos cuando los imanes son poderosos, y M. Henley, que ha conseguido producir con ellos chispas á distancia, los destina á dar fuego á las minas; pero para este objeto son mas ventajosos los aparatos de Ruhmkorf, porque son infinitamente mas baratos, producen mejores efectos, y pueden aplicarse á otros usos.

M. Henley ha construido una máquina magneto-eléctrica bastante poderosa, fundada en el mismo principio, que puede dar dos corrientes diferentes. Poniendo uno al lado de otro dos imanes rectos (figura 155), y adaptando ante sus polos contrarios dos electro-imanes fijos al extremo de dos palancas articuladas, basta separar uno para que se desarrollen corrientes tan enérgicas como si los dos imanes rectos hubiesen constituido un iman curvo; y esto se comprende si se considera que en el momento en que se separa uno de los electro-imanes, el otro constituye una traviesa magnética, que hace de los dos imanes rectos los dos brazos ó ramas de un iman curvo.

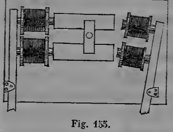


Fig. 155.

Este sistema ha sido aplicado por Henley á la telegrafía eléctrica.

Todos los aparatos electro-magnéticos que hemos explicado hasta aquí, menos el primero de Faraday, están fundados en la imantacion temporal y desimantacion del hierro dulce cuando se aproxima y se aleja de los polos de un iman permanente; y que este sea móvil como en la máquina de Pixi, ó fijo como en las demás, el alambre que ha de recibir la

corriente de induccion, se envuelve siempre en el hierro dulce formando un electro-iman. Vamos ahora á describir otra especie de aparatos, en que la corriente inducida se obtiene por la paralizacion ó cambio de intensidad de las corrientes magnéticas que existen en un iman permanente, cuando se le aproxima una masa de una sustancia magnética. Para conseguir este efecto se colocan las hélices de induccion en los brazos mismos del iman permanente, y se hace girar frente á sus polos una armadura de hierro dulce, que con la rotacion se aproxima y se aleja de ellos alternativamente.

Varios físicos se disputan la prioridad de esta idea, que segun unos, pertenece á M. Page, y segun otros, á M. Dujardin, que fué el primero á quien le ocurrió trasladar las hélices de induccion de la armadura al iman fijo. Describirémos, sin embargo, antes que ninguna otro de esta especie, la máquina de los hermanos Breton, porque ha sido la primera de este género que se ha construido.

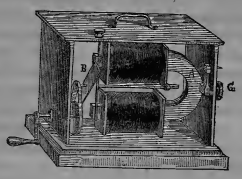


Fig. 156.

Máquina de M. Breton. Esta máquina se compone principalmente de un iman en forma de herradura (figura 156), cuyas ramas están provistas de un cilindro de madera ó carrete, sobre el cual se arrolla el alambre de induccion; estos carretes están fijos, y el iman, sin dejar de estar dentro de ellos, puede acercarse mas ó menos por medio del tornillo *G*

á la armadura de hierro dulce *B* que gira delante de sus polos. Las dos hélices formadas por el alambre de induccion están arrolladas en el mismo sentido, como las de un electro-iman ordinario, y están unidas entre sí por los extremos homólogos; de los otros dos extremos del alambre, el uno va á parar al cojinete en que descansa el eje de la armadura, y el otro al frotador que comunica con el conmutador. Este, en los aparatos de Breton, destinados principalmente á la medicina, se reduce á un semianillo metálico, incrustado en un anillo aislador, sobre el cual apoya el frotador ó resorte para recoger solo la corriente directa; pero adaptándola un inversor como el de los aparatos de Clarke, podria producir como aquel corrientes continuas en el mismo sentido. La rotacion se la da la armadura por medio de dos ruedas de diferente diámetro, una de las cuales tiene un manubrio, y la otra, adaptada al eje, recibe el movimiento por una cuerda sin fin, cuando no son dentadas las ruedas.

M. Nollet tuvo la ingeniosa idea de modificar este aparato combinando los dos sistemas de Clarke y de Breton, utilizando así la corriente eléctrica que se desarrolla al rededor de la armadura móvil de hierro dulce. Para esto, en vez de ser una simple armadura de hierro la que da vueltas delante de los polos del iman, se le da la forma de las de Saxton; hay por consiguiente en el aparato cuatro hélices de induccion, y pueden obtenerse por medio de conmutadores dos corrientes continuas, cuyos efectos pueden combinarse ó emplearse separadamente.

M. Gaiffe ha conseguido producir corrientes de induccion tan enérgicas como las que resultan de una máquina de Clarke ordinaria, con un aparato encerrado en una caja de 7 centímetros de ancho y de alto por 12 de longitud.

Máquina de M. Duchenne. — El Dr. Duchenne, médico de Boulogne, habia observado que las corrientes desarrolladas en las hélices inducidas ejercian efectos fisiológicos muy diferentes que los de la extracorriente que se produce en los

alambres inductores atravesados por una corriente voltáica, y queriendo utilizarlas ambas, trató en primer lugar de igualar la fuerza de las dos corrientes, que en las máquinas ordinarias tienen una intensidad muy diferente, lo cual consiguió disminuyendo el diámetro y aumentando la longitud del alambre inductor; á las corrientes producidas en este las llamó de primer órden, y de segundo órden á las que se desarrollan en el alambre inducido.

Reconocida nuevamente la diferencia de efectos fisiológicos, aun despues de igualadas las intensidades de las corrientes de primero y segundo órden, trató M. Duchenne de obtenerlas ambas en las máquinas magneto-eléctricas, en que no se hace uso de la electricidad voltáica, y para ello envolvió el alambre de sus hélices de induccion con un segundo alambre mucho mas fino; suponiendo con fundamento que la corriente desarrollada en las hélices primitivas debia asimilarse á la extracorriente de las máquinas electro-magnéticas, y que por consiguiente, el alambre que las envolviera debia producirlas semejantes á las de los alambres inducidos por la electricidad de la pila. La experiencia corroboró sus conjeturas, y M. Duchenne trató entonces de buscar los medios de graduar una y otra corriente. Haciendo uso de la influencia que ejercen los tubos metálicos en las corrientes de induccion, empleando el graduador de M. Breton, y un conmutador de interrupciones variables, se encontró con tres medios diferentes de graduacion.

En la máquina de M. Duchenne el iman permanente no se mueve dentro de las hélices como en el de M. Breton, para aproximarlo ó alejarlo de la armadura, sino que esta, con todo el sistema rotatorio, está montada sobre una plataforma con correderas, que puede ponerse en movimiento por medio de un tornillo, y alejarse ó acercarse á los polos del iman; este tornillo está en relacion con una aguja ó índice, que marca rigurosamente en un círculo graduado la distancia que separa la armadura del iman.

El iman fijo se compone de dos barras fuertemente imantadas, reunidas por una traviesa de hierro, de manera que constituyen un iman curvo, en cuyos brazos, como en el aparato de Breton, están las hélices de induccion, pero dispuestas de manera que dos cilindros ó tubos de cobre puedan cubrirlas mas ó menos, graduando así la intensidad de las corrientes inducidas (pág. 286), sobre todo las de segundo órden; pues como hemos dicho, las hélices son dobles, ó están compuestas de dos alambres, uno para las corrientes de primer órden y otro para las de segundo.

El interruptor, como en todos los aparatos de induccion, está fijo al eje de rotacion, y puede dar cuatro interrupciones en cada revolucion, es decir, una para cada corriente directa y otra para cada corriente inversa; ó dos solamente para las corrientes directas, segun se quiera. En fin, como es importante para los usos de la medicina obtener corrientes interrumpidas, el aparato está convenientemente dispuesto para que la rueda motriz las interrumpa dos ó cuatro veces en cada vuelta, segun se incline mas ó menos un resorte, cuyo grado de inclinacion marca un índice adaptado al boton que sirve para efectuarlo.

Máquina de M. Dujardin. — Esta máquina está construida segun los principios que han servido de base á las de Breton y Duchenne; así es que no nos detendrémos á explicar mas que la parte en que difiere de ellos; esta es la disposicion de la armadura, que en vez de tener un movimiento de rotacion, es una chapa de hierro dulce, fija á un montante por medio de dos charnelas, las cuales le permiten separarse de los polos del iman fijo por un movimiento de oscilacion que le imprime una palanca.

Se pueden combinar varias máquinas de estas y formar verdaderas baterías electro-magnéticas de mucha fuerza.

Un profesor de física de la universidad de Lieja, M. Gloesener, ha tenido la misma idea que M. Dujardin, y para separar con mas facilidad la armadura del iman, hace que uno de

los polos de este sirva de punto de apoyo para el movimiento de palanca que se imprime á la armadura.

Máquinas electro-magnéticas.

Masson ha sido uno de los primeros que despues del descubrimiento de Faraday, se ha ocupado en perfeccionar los aparatos de induccion. El primero que empleó en sus experimentos se componia de una pila de Bunsen, un circúito, que era al mismo tiempo inductor é inducido, pues no se valia sino de la extracorriente; y por último, del interruptor representado en la figura 139, que es una rueda dentada, sobre cuya circunferencia viene á tocar un resorte de metal. Cada vez que el resorte apoya sobre uno de los dientes, el circúito está cerrado, porque uno de los polos de la pila comunica con la rueda y otro con el resorte, mientras que por el contrario se interrumpe la corriente cada vez que el resorte deja de tocar un diente para tomar el otro; de suerte que las interrupciones se suceden con mas ó menos rapidez, segun la velocidad con que se haga girar la rueda.

Despues se han perfeccionado los medios empleados por Masson, sobre todo sustituyendo á la rueda, que era preciso mover á mano, los interruptores mecánicos, entre los cuales el mas ingenioso y sencillo es el de De La-Rive, que hemos descrito al hablar de su condensador eléctrico, y cuya invencion le disputan Froment y el Dr. Neff de Francfort, que es el que parece tener mas derecho á la prioridad.

Aparato electro-magnético de M. Jules Mirand. — Este aparato, muy poco voluminoso, está compuesto de un cilindro de madera hueco ó carrete, en el cual se envuelve primero el alambre inductor de dos milímetros de diámetro, que forma cuatro hélices superpuestas. El alambre de induccion, sumamente fino y largo, se arrolla sobre el primero, y sus dos extremos vienen á parar á dos tornillos, donde pueden fijarse despues los alambres del circúito en que se quiere experi-

mentar. Los extremos del alambre inductor, es decir, del mas grueso, comunican el uno con el boton ó tornillo adonde viene á parar uno de los reóforos de la pila, y el otro con el interruptor de De La-Rive. Este está enteramente aparte, colocado cerca del cilindro de induccion, y tiene un electro-iman pequeño, especial, cuyo alambre está interpuesto en el circúito inductor.

Esta interposicion hace que todas las vibraciones producidas por el interruptor se repitan en la corriente inductora, y exciten en el otro alambre las corrientes de induccion.

Para regular la fuerza de su aparato, M. Mirand emplea un cilindro de hoja de lata, que introduce mas ó menos en el carrete de madera que sirve de alma á las hélices de induccion; cuando está enteramente introducido, la fuerza de las conmociones llega á su máximo, y por el contrario están en su mínimo cuando no se usa el cilindro; pero como aun así son algunas veces demasiado enérgicas, M. Mirand propone que se retire mas ó menos del ácido nítrico el carbon de la pila de Bunsen que hace marchar el aparato.

Aparato de M. Breton y hermano. — En el aparato de estos señores, el alambre de induccion se envuelve en un cilindro hueco muy delgado, en el cual puede introducirse mas ó menos un electro-iman, cuyo alambre, en comunicacion con una pila, se convierte entonces en alambre inductor. Cuando el cilindro de induccion cubre enteramente el electro-iman, la corriente inducida tiene el máximum de intensidad, y disminuye rápidamente su energía á medida que se va sacando y queda menos alambre expuesto á la induccion.

El interruptor de corrientes empleado en este aparato se coloca junto al electro-iman, que es recto y está horizontalmente colocado. Consiste en un molinete compuesto de un eje vertical, en el cual hay una pieza que al girar abre ó cierra el circúito inductor, segun su posicion, y tiene además cuatro pedacitos de hierro dispuestos en cruz, de modo que dan vueltas por la accion del electro-iman, que los atrae ó los de-

ja libres, segun pase ó no la corriente, y al girar hacen obrar la pieza que interrumpe el circúito.

Mr. Paul de Vigan ha introducido en el aparato de Breton un reótropo, que por la accion misma de la máquina invierte el sentido de las corrientes, y segun parece, es el primero que ha tenido esta idea.

Aparato volta-ferádico de M. Duchenne. — Hemos visto ya al tratar de la máquina magneto-eléctrica de este físico, que habia conseguido aumentar la intensidad de la corriente de primer órden ó extracorriente, y trató despues de regularizarla, como lo hizo ya con las de segundo órden; por medio de un tubo de cobre interpuesto entre la hélice inductora y el manojo magnético que se introduce en ella para hacer mas enérgica la accion, ha conseguido el Dr. Duchenne el objeto que se proponia, pues introduciendo mas ó menos el tubo, disminuye ó aumenta la accion inductora del manojo magnético sobre el alambre inductor; y si bien influye algo en las corrientes que recorren la hélice inducida, la accion no es tan directa por la mayor distancia á que se encuentra.

Consta el aparato de Duchenne (figura 157) de una hélice inductora *Y*, que recorre la corriente de una pila voltáica; dentro de esta hélice se introduce un manojo de alambres de hierro dulce *H*, que se imanta por la accion de la corriente inductora; entre el manojo magnético *H* y la hélice *Y* está el tubo de cobre *G*, que puede introducirse mas ó menos y ejercer por consiguiente su accion retardatriz sobre una superficie mayor ó menor de la hélice *Y*. Sobre la hélice inductora está arrollada la hélice de induccion *E*, cubierta por otro cilindro de cobre *F*, que puede tambien introducirse mas ó menos, para disminuir ó aumentar la energía de la corriente inducida de segundo órden, segun la llama Duchenne, que se desarrolla en la hélice *E*.

El interruptor imaginado por el autor del aparato, se halla colocado en un costado de este. Se compone de una chapa cua-

drada de hierro dulce *O*, sujeta por una charnela y que por medio de un tope de marfil *P* puede empujar un resorte flexible *M*, puesto en relacion con una de las extremidades de la hélice inductora. Un tornillo *N* en comunicacion con la pila, está en contacto con el resorte *M*, y establece por consiguiente la corriente al través del aparato. Establecida la corriente de esa manera, el manojo de alambres se imanta, atrae la chapa *O* que tiene delante, el tope de marfil *P* empuja el resorte y lo separa del tornillo *N*; por consiguiente se interrumpe la corriente, pero vuelve á restablecerse inmediatamente, porque el manojo se desimanta, deja libre la chapa y el resorte, que viene á tocar otra vez al tornillo *N*, donde se pone en comunicacion con el polo de la pila.

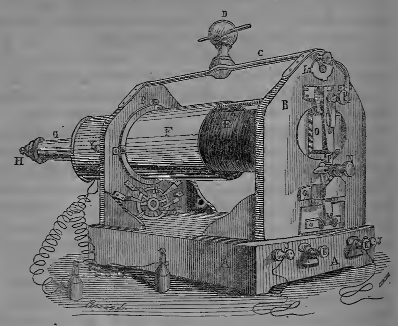


Fig. 157.

Sobre el reótomo que acabamos de describir se ve otro interruptor *L*, que consiste en una rueda dentada para efectuar las interrupciones con intervalos muy grandes, y produ-

cir, segun Mr. Duchenne, efectos de induccion mas enérgicos. En el costado opuesto del aparato hay un conmutador *R*, que se ve por la parte interior de la figura y sirve para trasmitir al mismo circúito, ya la corriente de primer órden, ya la de segundo; en la parte exterior lleva un boton unido á una aguja indicadora, que se coloca sobre el punto marcado en un arco de círculo correspondiente á cada posicion del conmutador.

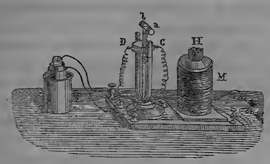


Fig. 158.

Aparato de induccion de Bianchi (figura 158). — En este aparato, la doble hélice de induccion, compuesta de los dos alambres, inductor é inducido, se halla separada del interruptor; este, debido á Mr. Ritchie, consiste en un electro-iman rectilíneo *a b*, móvil al rededor de un vástago, que sirve de eje en el centro de un soporte vertical, colocado entre las dos ramas *C D* de un iman curvo, de suerte que el electro-iman *a b* por la accion de la barra de hierro dulce que lo constituye, tiende á colocarse en la direccion de la línea de los polos; pero el alambre conductor que rodea á *a b* termina en dos cabos de platino, que vienen á tocar con sus extremos en un baño de mercurio, fijo tambien al soporte; el baño está dividido en dos por un diafragma no conductor que no opone obstáculo ninguno al movimiento circular del electro-iman, porque como el mercurio no moja las paredes del vaso que lo contiene, puede elevarse mas que la parte superior del diafragma, y los extremos de los alambres de pla-

tino no tropiezan en él, sin embargo de que llegan al mercurio de los dos compartimentos, que presenta dos superficies convexas. En el momento en que los dos alambres de platino tocan las dos superficies de mercurio, la corriente se establece, el electro-iman *a b* se pone en cruz con la línea polar del iman fijo, y se interrumpe la corriente, el hierro desimantado vuelve á obedecer á la atraccion de los polos *C D*, y la corriente inductora que se hace pasar por dicho interruptor se establece y se corta un gran número de veces por segundo.

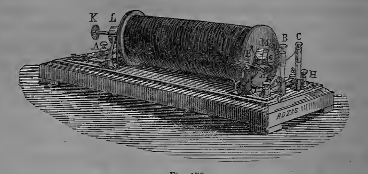


Fig. 159.

Máquina de Ruhmkorff (figura 159). — La mas poderosa de todas las máquinas de induccion que se han construido hasta el dia; la que ha conseguido, por sus admirables efectos de electricidad estática, reemplazar á las máquinas eléctricas por frotacion, es la que se conoce con el nombre del hábil constructor que la ha ejecutado. Esta máquina, que ha llamado justamente la atencion de todos los físicos, ha sido particularmente estudiada por el vizconde Du Moncel, quien ha publicado una descripcion muy notable de ella, con la relacion de los experimentos á que la ha sometido. Recomendamos dicho trabajo á los que deseen conocer en todos sus pormenores este notable aparato; por ahora nos contentarémos con describirlo de la manera que lo hace el mismo Du Moncel, y mas adelante explicarémos alguno de sus fenómenos.

Aprovechando Ruhmkorff los experimentos y las observaciones de Masson y Breguet, trató de combinar el aparato de induccion de manera que la electricidad estática desarrollada por la reaccion de la corriente voltáica pudiera recogerse, con cuyo objeto se aplicó á obtener un aislamiento perfecto de los alambres. Convencido tambien de que no era la longitud ó el desarrollo de cada espiral inducida lo que producia el acrecentamiento del efecto eléctrico, sino su multiplicacion, disminuyó considerablemente el volúmen de los aparatos usados por Masson y Breguet, no aumentando mas que la longitud del cilindro formado por las hélices de induccion. Considerando además que era condicion indispensable tener un circúito inducido de una resistencia muy grande para la tension eléctrica, empleó un alambre sumamente fino y muy largo, que en sus grandes aparatos es de diez kilómetros, poco mas ó menos. Por último, sabiendo que la reaccion de las corrientes magnéticas contribuye mas al desarrollo de las inducidas, que la reaccion sola de la corriente inductora, introdujo en el interior de la hélice un manojo de alambres de hierro dulce. Como interruptor se valió del mecanismo de De La-Rive, modificado para poder graduar su efecto.

El carrete ó cilindro hueco en que se forman las hélices de induccion es por lo regular de carton delgado, con los rebordes de vidrio, ó bien todo cubierto con un baño espeso de goma laca, si los rebordes son de madera. Sobre este cilindro ó carrete está revuelto en hélice, y perfectamente aislado, un alambre de dos milímetros de grueso, que da 300 vueltas al rededor de aquel, y cuyos extremos vienen á terminar en los pilares de cobre *Y O*. Encima de esta hélice se forma otra con alambre, que como hemos dicho, ha de ser muy fino (de $^1/_5$ de milímetro próximamente), que tenga una longitud de ocho á diez kilómetros; sus dos extremidades terminan en los tornillos *B* y *C*, montados sobre dos columnas aisladoras de vidrio.

Los reóforos de una pila, que generalmente es de Bunsen, vienen á comunicar con el aparato en los dos tornillos *A A'* donde se aseguran; estos tornillos comunican á su vez con los dos resortes del conmutador *K L*, que es el mismo que explicamos en la pág. 303, y por consiguiente, basta dar vuelta al cilindro del conmutador para que la corriente vaya en un sentido ó en otro.

El circúito inductor se halla cortado además por el interruptor *E D*, representado con mas detalles en la figura 160, y que es, como hemos dicho, el mismo usado por De La-Rive en su condensador electro-químico, y modificado de la manera siguiente: El manojo de alambres de hierro dulce termina en *M* por una rodaja, tambien de hierro dulce, destinada á obrar sobre el interruptor. Este se compone principalmente de una palanca *E D*, terminada por un martillo de hierro *D* y de un resorte *a b*, en cuyo extremo hay un cilindro macizo *b* de cobre, que se llama el yunque; tanto el yunque como el martillo, tienen soldadas dos hojillas de platino bien pulimentado para que la chispa producida con las interrupciones no altere prontamente el aparato. El resorte *a b* está fijo en *a* á una lámina metálica que comunica con el alambre inductor, y tiene en *c* un tornillo, que permite acercar mas ó menos el yunque *b* al martillo *D*, y graduar por consiguiente el intervalo de las interrupciones. La palanca *E D* entra en una hendidura que hay en la columna metálica *Y*, que comunica con el alambre inductor, y se asegura á ella por medio de un pasador ó eje metálico, que le sirve de articulacion; en los tornillos *G* de la columna y *E* de la palanca se asegura un alambre de plata, que sirve para hacer mas completa la comunicacion metálica entre la palanca y la columna.

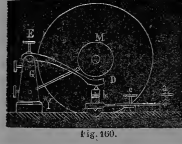


Fig. 160.

Cuando el martillo está en contacto con el yunque *b*, el cir-

cúito inductor está cerrado, la corriente circula, el manojo de alambres de hierro que hay en el interior de la hélice se imanta y lo atrae, separándolo del yunque. En el momento en que esto sucede, el circúito se interrumpe, la corriente deja de pasar, el manojo de alambres se desimanta, y el martillo vuelve é caer por su peso, para restablecer de nuevo la corriente; esta série de interrupciones y de atracciones se verifica con una rapidez tanto mas grande, cuanto menor es la distancia que separa el martillo del yunque. Los efectos obtenidos con este aparato así dispuesto son sorprendentes; la chispa salta á gran distancia, no solo por la aproximacion de los dos extremos del circúito inducido, sino tambien cuando se provoca por un cuerpo extraño á él, llegando el caso de que se observe el mismo fenómeno al través de la sustancia aisladora que cubre los alambres. Como se ve, se ha conseguido hacer una máquina eléctrica cuyos efectos son los de la electricidad en su estado estático por medio de la accion inductora, capaz de competir, á pesar de su pequeño volúmen, con las mas poderosas de Ramsden y de Van-Marum.

M. Fizeau, haciendo por su parte trabajos sobre la induccion, encontró los medios de aumentar los efectos eléctricos interponiendo en la corriente inductora un condensador, cuyas funciones, segun su autor, consisten en acumular la electricidad de tension ó de induccion que desarrolla la extracorriente en el alambre inductor, y destruir los efectos perniciosos que produce sobre el circúito inducido. Se ve, en efecto, que cuando el condensador está interpuesto la chispa del interruptor disminuye en intensidad, y la de la corriente inducida toma por el contrario mayor extension.

Lo que hay de positivo, es que el condensador aumenta la energía de los efectos del aparato, sobre todo cuando hay entre los polos una resistencia que vencer, y es mas sensible el efecto mientras mayor es la resistencia.

Ruhmkorff ha hecho la aplicacion de este aparato de una manera feliz. El condensador se compone de dos hojas de pa-

pel de estaño, pegadas á uno y otro lado de una tira de tafetan engomado, de unos 3 á 4 metros de largo, dobladas entre otras dos tiras del mismo tafetan, y de forma que puede introducirse dentro del pedestal del aparato. Las armaduras del condensador, es decir, las hojas de estaño, han de estar siempre en comunicacion con los tornillos *G* y *H*, que dan paso á la corriente inductora, y en los cuales puede recogerse la extracorriente.

Los efectos de la máquina de Ruhmkorff pueden aumentarse considerablemente reuniendo varios aparatos, ya en tension, ya en intensidad, cuyos reótomos tengan vibraciones unísonas, es decir, formando verdaderas baterías, bajo la influencia de varios generadores eléctricos, ó de uno solo, como lo ha propuesto M. Leon Foucault, ó bien interponiendo en la corriente inducida un condensador de una seperficie proporcionada al número de elementos de la pila que hace marchar el aparato.

Aparato de induccion del profesor Cecchi.—Este aparato no es mas que una modificacion de la máquina de Ruhmkorff, con la cual se aumenta considerablemente el efecto de esta. El medio adoptado por el autor consiste en eliminar la corriente inversa, y no utilizar por consiguiente sino la directa, teniendo cuidado de invertir el circúito inductor en cada interrupcion, con objeto de destruir completamente el magnetismo del hierro, que está precisamente en ese momento en su máximum de intensidad, y cuya persistencia no puede menos de ser perjudicial al desarrollo de la corriente inducida.

Las modificaciones principales hechas por el profesor Cecchi en la máquina de Ruhmkorff son tres:

1.ª Sustituir el manojo de alambres con el hierro dulce de uno de sus electro-imanes (pág. 271, figura 124) de dimensiones convenientes, y cuyos polos, saliendo de las extremidades de la hélice, terminan en dos grandes cubos de hierro macizo.

2.ª Adaptar sobre cada una de las caras laterales bien pulimentadas de estos cubos unas chapas de hierro dulce, que sirven de contactos (1) y tienen la longitud del aparato. De esta manera el electro-iman parece un gran paralelepípedo de hierro de donde se ven salir por cuatro agujeros practicados en uno de los contactos, los cuatro extremos de los alambres conductores de la corriente inductora y de la inducida.

3.ª Reemplazar el martillo reotómico que usa Ruhmkorff por un conmutador giratorio de doble efecto, que alternando la direccion de la corriente inductora, mantiene constante la de la inducida; porque siendo el martillo de simple efecto, las corrientes de la pila que recorrian el alambre grueso tenian todas la misma direccion.

Aunque aquel físico no ha hecho experimentos sino con aparatos pequeños, los efectos obtenidos no dejan duda ninguna sobre la importancia de los que se podrán obtener empleándolos mayores.

Máquina de induccion de Poggendorff. — Esta máquina es tambien una modificacion de la de Ruhmkorff, en la cual se ha propuesto su autor hacer varias mejoras, que segun Du Moncel, no han sido aun suficientemente sancionadas por los resultados. Estas mejoras consisten:

1.° En dividir el cilindro ó carrete de induccion en cierto número de compartimentos por medio de discos aisladores, y en cubrir sucesivamente cada compartimento con el alambre inducido, no revolviendo en cada uno de ellos sino un número impar de órdenes de espiras, á fin de que el alambre pase regularmente de una division á otra, y termine en los dos extremos del aparato.

2.° En sumergir de antemano los alambres metálicos, cubiertos de seda, que deben constituir las hélices inductora é inducida, en un baño de esperma de ballena, de ácido esteárico ó de una mezcla de cera y aceite, á un grado de calor

(1) Esta descripcion la ha tomado Du Moncel de la *Recreazione,* periódico científico que se publica en Florencia.

superior al punto de fusion, para impedir que la materia aisladora se solidifique repentinamente al ponerse en contacto con el alambre, y le permita penetrar profundamente la capa de seda que lo rodea.

3.° En colocar las hélices sobre un cilindro de vidrio, sostenido en sus extremidades por soportes de gutta-percha, y cubrirlas despues con una hoja de tafetan barnizado.

4.° En dar al cilindro ó carrete la forma de dos conos truncados unidos por sus bases.

5.° En formar la espiral inductora de dos alambres separados, en lugar de uno, para poder tener á voluntad un conductor de seccion doble ó de doble longitud.

6.° En formar el manojo magnético con alambres de hierro dulce mas gruesos que los de aquel, y separarlos unos de otros para aislar las corrientes magnéticas.

7.° En aislar el interruptor del aparato, á fin de poderle hacer obrar en condiciones diferentes.

8.° En emplear para los condensadores, en vez de tafetan engomado, hojas de papel comun, preparadas con una disolucion alcohólica de lacre, ó bien de papel encerado, cubiertas con un barniz de goma laca.

Dos de las modificaciones propuestas por Poggendorff habian sido ya adoptadas hace tiempo por los constructores Fabre y Kunemann, que en todas las máquinas de induccion que construyen, emplean en vez de un cilindro, dos conos truncados unidos por sus bases, en los cuales revuelven el alambre de manera que los cabos vayan á parar á los dos extremos de la hélice.

Aparato de induccion modificado por el abate Laborde.—Con el mismo objeto que los anteriores, ha hecho este físico modificaciones al aparato de Ruhmkorff, tan útil ya en el estudio de la electricidad. La primera ha sido reemplazar el reótomo de De La-Rive con un interruptor de doble efecto, no como el de Cecchi, para invertir el sentido de la corriente inductora, sino para que una débil corriente pueda ponerlo en juego y

para que su movimiento bien regularizado pueda acelerarse ó retardarse entre límites bastante extensos.

Se compone de un cilindro pequeño de hierro dulce, soldado á una chapa metálica flexible; esta se halla fija á un eje por uno de sus extremos, y el otro, armado del cilindro de hierro dulce, puede dirigirse hácia uno ú otro de dos pequeños electro-imanes colocados frente á sus extremos.

Dos soportes, uno á cada lado de la lámina flexible, provistos de un tornillo cada uno, que limita mas ó menos el curso de la chapa cuando se mueve, están en comunicacion con los alambres de los electro-imanes; el soporte de la derecha con el electro-iman de la izquierda, y el de la izquierda con el electro-iman de la derecha. Uniendo los dos alambres opuestos de los electro-imanes con el polo de una pila, y el otro polo de esta con el eje donde está fija la chapa flexible, esta se pondrá en movimiento, atraida por el electro-iman del lado contrario á aquel cuyo soporte toque, porque están en cruz las comunicaciones de los electro-imanes con los soportes, y la rapidez de la variacion dependerá de la distancia de los tornillos de contacto de los soportes, que pueden alejarse ó aproximarse á voluntad.

Para aplicar este interruptor al aparato de Ruhmkorff, basta poner los dos alambres libres de los electro-imanes en contacto con un extremo del alambre inductor, y el otro extremo de este se pone en comunicacion con uno de los polos de la pila; el polo opuesto se une al eje en que está fija la chapa del reótomo. Para aumentar ó disminuir la intensidad de las oscilaciones del reótomo, dice su autor, basta aproximar una barra imantada al cilindro de hierro dulce, y segun sea la tendencia del polo presentado á favorecer ó á destruir el magnetismo desarrollado por la accion de los electro-imanes, así serán mas fuertes ó mas débiles las oscilaciones, y aun llegarian á ser nulas; si se invierte uno de los polos de los electro-imanes, el cilindro no se dirigirá sino á uno de los dos soportes, segun el polo del iman que se le presente.

Otra modificacion propuesta por el abate Laborde, y mucho mas importante, tiene por objeto igualar la tension de la electricidad en los dos polos del aparato de Ruhmkorff. Esto lo consigue fijando en el centro del cilindro hueco ó carrete en que se halla la hélice inductora una rodaja de carton del mismo diámetro que los rebordes exteriores; despues de haber dividido el alambre inducido en dos partes iguales, se mete el extremo de una de ellas debajo de la rodaja de carton, y se revuelve el alambre desde este punto hasta el reborde exterior; colocada de este modo la primera mitad del alambre, se suelda el extremo de la segunda con el de la primera que se habia pasado por debajo de la rodaja, y se revuelve esta mitad sobre la media hélice inductora que habia quedado descubierta, de modo que es como si se tuviera un solo alambre inducido, cuyo centro está en el de la primera capa de espiras de la hélice, y cuyas extremidades, avanzando progresivamente hácia afuera, presentan dos polos de igual tension eléctrica.

Este resultado lo sospechábamos antes de conocer los trabajos del abate Laborde, cuando al ejecutar ensayos en grande de nuestro sistema de señales eléctricas para evitar accidentes en los caminos de hierro, observamos en el de Almansa, donde se hacian los experimentos, un hecho tan interesante como nuevo. Proponiéndonos usar como señal de alarma la explosion de un pistolete de Volta ó de los petardos de Sthatam, y servirnos del circúito inducido del aparato de Ruhmkorff, para obtenerla en caso de peligro, creimos que interponiendo el aparato de alarma en el alambre que comunicaba con el polo interior de la hélice inducida, no habria peligro de que hicieran explosion las materias detonantes mientras no se cerrara el circúito, y así súcedió en efecto en todos los experimentos que hicimos en pequeño para asegurarnos del resultado; trasladado el aparato á la via sobre un carruaje, de modo que la tierra quedase en comunicacion con el polo exterior, y el interior lo estuviera al través del aparato de

alarma con el comunicador que habia de tocar los alambres aislados, de dos kilómetros de longitud, que se habian dispuesto paralelamente á las barras-carriles, pasó todo como en los primeros experimentos, mientras el carruaje no entró en la via preparada; pero tan luego como el comunicador tocó al alambre, se verificó la explosion, y se hizo sentir una série continuada de chispas en el pistolete mientras duró el contacto, como si hubiera estado cerrado el circúito. Esta fué naturalmente la primera idea que nos ocurrió, y atribuimos el fenómeno al mal aislamiento de los alambres, á pesar de que no parecia posible estando la atmósfera perfectamente seca y los alambres descansando sobre aisladores de vidrio y de goma elástica volcanizada de 0,33 metros de longitud, sujetos á mas de 3 metros del suelo, en postes de madera seca, expuestos al sol abrasador del centro de España, que hacia mucho tiempo no habia cubierto una sola nube. No fué largo este error, porque convencidos por una parte de que el aislamiento de los alambres se habia hecho con sumo cuidado, y preocupados por otra con la singularidad del fenómeno, hasta entonces oscuro, de la desigualdad de tension en los dos polos del aparato de Ruhmkorff, concebimos la idea de que habia alguna relacion entre ambos hechos y que el exceso de tension del polo exterior no debia provenir sino de la manera con que estaba construido el aparato, y que el polo interior, al ponerse en contacto con el alambre aislado, debia quedar en condiciones análogas á las del polo exterior. Repetidos experimentos lo demostraron así; puesto en contacto el polo interior con un alambre cubierto de gutta-percha de 100 metros de longitud, se obtenian en el extremo libre del alambre, chispas á distancia, provocadas por un cuerpo aislado del circúito, de la misma manera que se obtienen del polo exterior; á medida que se disminuia la longitud del alambre, la tension era menor, y llegaba á ser nula con alambres de corta extension; era pues evidente que el alambre aislado sobre los postes que se habian empleado en los expe-

rimentos del ferro-carril de Almansa habian hecho un efecto análogo al del alambre cubierto de gutta-percha de los ensayos posteriores, á saber, el de aumentar la tension de la corriente inducida que afluye al polo interior del aparato de Ruhmkorff, hasta el punto de vencer la resistencia del medio interpuesto entre las dos puntas del aparato de alarma, de modo que la diferencia de tension de los dos polos de la hélice inducida parecia depender de la distancia á que se hallan uno y otro del centro de induccion; no quedaba que hacer, para acabar de comprobar el hecho, mas que construir una máquina en que la hélice de induccion tuviera los dos extremos equidistantes del centro, y eso es lo que felizmente acaba de hacer el abate Laborde, conducido á ello sin duda por observaciones análogas á las que acabamos de exponer.

Pero en la série de experimentos que hemos citado, es preciso observar que aunque el resultado obtenido es el mismo, el de aumentar la tension del extremo interior de la hélice inducida del aparato de Ruhmkorff, hay dos clases de experimentos que difieren esencialmente por las circunstancias con que se han hecho, y pueden conducir á consecuencias muy distintas. Cuando se emplea el alambre aislado de gutta-percha simplemente, y puesto en contacto con el polo interior de la hélice inducida, se sacan chispas á distancia del extremo libre del alambre aislado, este puede considerarse verdaderamente en las mismas circunstancias que el polo exterior de la hélice, cuya mayor tension podria atribuirse solo á la distancia á que se encuentra del centro de induccion, y de aquí pasar á la consecuencia deducida por el abate Laborde, consecuencia muy fundada, puesto que se obtienen polos de igual tension con la disposicion que ha dado á su aparato. Pero ¿es indispensable esta disposicion para obtener dicha igualdad de tension? Creemos que no, y la otra clase de experimentos á que nos referimos lo demuestran. En efecto, cuando se interponia el aparato de alarma, ya fuese en el alambre aislado sobre los postes, ya en el alambre aislado por la

gutta-percha, esta interposicion se hacia en un punto próximo al polo mismo del aparato de Ruhmkorff, la interrupcion del pistolete, donde se manifestaba la tension del polo interior, estaba tan cerca de este, que si se separaban las puntas lo suficiente para que no influyera la electricidad de la que estaba en contacto con la máquina, sobre la natural de la que comunicaba con el alambre libre, no se podian sacar chispas de la primera; es mas: cuando el alambre libre que comunicaba con la otra punta era de corta extension, tampoco habia señales de tension en la interrupcion del pistolete; por consiguiente se ve la gran influencia de la magnitud del cuerpo aislado con que se provoca la chispa en el polo interior, porque no es otra cosa en realidad lo que hace la segunda punta del pistolete unida al alambre libre, cuando se aproxima á la primera unida al polo interior del aparato. Bastaria pues, para obtener igual tension en ambos polos de la hélice inducida del aparato de Ruhmkorff, provocar el paso de la electricidad con un cuerpo conductor aislado, cuya magnitud, ó cuya superficie tal vez, sea tanto mayor que la del excitador que se emplee para el polo exterior, cuanto mayor sea la diferencia entre las distancias de los polos interior y exterior de la hélice inducida al centro de induccion; ó bien poner el polo interior en contacto con un conductor aislado de las mismas circunstancias; y aun seria mejor añadir al aparato de Ruhmkorff un reóstato en vez de un simple alambre, pues con él se podria aumentar ó disminuir la longitud del conductor añadido, y no solo se graduaria hasta tener la misma tension eléctrica en ambos polos, sino que podria servir para estudiar la influencia de las corrientes de órden inferior sobre la parte de alambre inducido inmediata á los puntos de induccion.

La tercera de las modificaciones propuestas por el abate Laborde es la del condensador. Llevado por su propia experiencia á suponer que es preciso disminuir en las armaduras las distancias que debe recorrer la electricidad libre,

preparó un condensador que llenara su objeto. Sobre una tira de tafetan engomado, que puede ser de una longitud cualquiera, pegó una hoja de estaño, que sobresalia dos centímetros del borde derecho del tafetán en toda su extension y dejaba en el izquierdo sin cubrir una lista de tres centímetros próximamente; pegó del otro lado del tafetan otra hoja de estaño con las mismas precauciones, pero en una posicion inversa, es decir, que en la orilla del tafetan que quedó libre, es donde dejó sobresalir dos centímetros de la hoja de estaño, y en la opuesta dejó libre una lista igual á la primera. Aplicó despues sobre cada hoja de estaño un pedazo de tafetan igual al primero, de modo que las orillas de los tres pedazos se correspondian perfectamente, y arrolló luego el todo en un cilindro de madera. De ese modo, el borde de la armadura superior se presenta á la derecha y el de la inferior á la izquierda, ambos arrollados sobre sí mismos; hecho esto, se aprietan bien los contornos, de modo que se establezca entre ellos un contacto metálico perfecto, y se sujetan con dos *virolas*. Poniendo cada una de estas en relacion con los dos polos del aparato, las comunicaciones se encuentran fácilmente establecidas, y la electricidad no tiene que recorrer sino una distancia insignificante, aun cuando se empleara un condensador de mucha extension.

Modificaciones de M. Leon Foucault.— Ademas del medio propuesto para aumentar los efectos de las máquinas de Ruhmkorff, reuniéndolas en baterías, segun ya indicamos, el célebre autor del giróscopo ha tratado de remediar uno de los inconvenientes mas graves que presentaban dichos aparatos de induccion. Hemos visto que el interruptor de De La-Rive que en ellos se emplea, tiene una chapa de platino en el martillo y otra en el yunque, para impedir la accion destructora de la chispa; pero á pesar de eso, cuando el aparato funciona algun tiempo, el platino se altera, y si la corriente es muy fuerte, las piezas del interruptor llegan á soldarse por efecto de un principio de fusion, y cesa de

marchar el aparato. Para evitar este inconveniente, ha recurrido M. Foucault al mercurio, y ha hecho construir un reótomo en que el yunque está reemplazado por un vaso que contiene mercurio cubierto con una capa de alcohol que recoge los vapores mercuriales é impide la oxidacion del metal; y el martillo no estando limitado en sus excursiones por un obstáculo rígido, ha podido sustituirse con una lámina elástica, que vibra bajo la influencia de un electro-iman; esta lámina, sujeta por uno de sus extremos, tiene en el centro una pieza de hierro dulce, sobre la cual ejerce su accion el electro-iman, y el otro extremo, despues de haberse encorvado, viene á terminar en una punta de platino, que establece ó interrumpe el circúito, segun toque ó no al mercurio; Foucault asegura que el reótomo ejecuta estas interrupciones unas sesenta veces por segundo, y no solo regulariza las chispas, sino que aplicado á los aparatos que generalmente se usan, aumenta hasta cierto punto su poder.

Puede adaptarse tambien sin precaucion ninguna á las máquinas ordinarias de Ruhmkorff, reunidas en batería, cuando no pasen de dos; pero si se quiere aumentar el número, es preciso aislar con sumo cuidado los aparatos añadidos, y establecer un aislamiento absoluto entre el alambre inductor y la superficie interna de la hélice inducida, lo cual se consigue introduciendo un tubo de vidrio en el espacio anular que separa las dos hélices concéntricas. Estas precauciones han sido tomadas por Ruhmkorff, y con ellas, cuatro máquinas reunidas han producido los efectos de tension que eran de esperar: el chorro de chispas se lanzaba á una distancia de siete á ocho centímetros.

Mucho nos hemos detenido en este capítulo; pero su importancia por una parte, y la novedad de los hechos que lo constituyen, que no han recibido todavía una explicacion definitiva, hacian indispensable entrar en algunos pormenores, sin los cuales no hubiera podido el lector formarse una opi-

nion exacta de los fenómenos, muy necesaria aquí, porque no las hay aun bastante autorizadas para que puedan constituir una ley, como sucede en otros ramos de la física, á pesar de que unas y otras, preciso es confesarlo, se apoyan en hipótesis mas ó menos cuestionables.

CAPITULO VI.

PROPAGACION DE LA ELECTRICIDAD.

Es de tal importancia el estudio de la propagacion de la electricidad, que no podemos menos de consagrarle algunas páginas especiales, sin lo cual no se llenaria tal vez el objeto que nos hemos propuesto al escribir esta primera parte de nuestro libro. En efecto, la telegrafía eléctrica aplicada á los caminos de hierro, cualquiera que sea el sistema que se examine, puede decirse que consta de tres partes principales: *los generadores eléctricos* que han de producir el poderoso agente de que nos valemos; los *órganos eléctricos* de que nos servimos para recoger, trasmitir y manejar el flúido eléctrico; y por último, *los conductores* por donde se ha de verificar la trasmision, verdaderos caminos que trazamos á la electricidad y de cuya buena disposicion depende que no los abandone y llegue al fin de su carrera en el estado y en la cantidad en que la necesitamos. Los generadores de la electricidad los hemos descrito en los capítulos I, II y V, con toda la extension que nos ha sido posible; los órganos eléctricos de un uso general en la telegrafía, como son los electro-imanes, los reótomos y los reótropos, los hemos dado á conocer tambien en los capítulos IV y V; resta solo hablar de los conductores, y de la manera como se trasmite en ellos la electricidad, pues si bien hemos hecho algunas indicaciones en los capítulos I, II y V, no era posible en ninguno de ellos dar á esta parte la extension que merece; en los primeros, porque no se tenian aun los conocimientos necesarios para comprender de qué modo se habian llegado á obtener experimentalmente las leyes que ri-

gen la marcha de la electricidad en los diferentes medios, y en los últimos, porque diferia demasiado la índole de dicho estudio del de las materias en ellos contenidas. En un capítulo especial, que puede considerarse como un apéndice á los que llevamos escritos, tendrémos lugar de hacerlo, abrazando el conjunto de observaciones mas interesantes que se han hecho sobre los conductores, las corrientes eléctricas, sus leyes y su velocidad.

La palabra *propagacion* lleva consigo la idea de movimiento, y como hemos visto al fin del capítulo primero, la electricidad en movimiento es para nosotros la electricidad en el estado que resulta de la reunion ó neutralizacion de los dos principios ó flúidos eléctricos opuestos. Dijimos allí que esta reunion puede ser *continua* ó *instantánea;* que en el primer caso constituye lo que se llama una *corriente*, y en el segundo una *descarga*. Una sucesion muy rápida de descargas, que como hemos visto en el capítulo de la induccion, se llaman corrientes instantáneas, puede formar una corriente contínua, de la misma manera que esta puede descomponerse en una série de corrientes discontinuas, por medio de un interruptor ó reótomo. Lo que caracteriza una corriente, aunque algunas veces sea temporal ó de pocos instantes, es que obra sobre el galvanómetro magnético, mientras que la descarga, completamente instantánea, produce una multitud de fenómenos, pero no ejerce accion ninguna sobre dicho instrumento.

La manera mas sencilla de considerar la propagacion de la electricidad es hacerlo en un cuerpo conductor, que reune los dos polos de una pila voltáica; las dos electricidades que se desprenden constantemente en cada uno de los polos se neutralizan de una manera continua, á medida que se producen al través del conductor, y constituyen la corriente cuyos efectos hemos hecho conocer, así como las acciones que ejercen sobre sí mismas y sobre los cuerpos exteriores. Esta corriente, al propagarse por la masa del conductor, sigue una direccion determinada por la forma de este; es decir,

que será rectilínea, si es rectilíneo el conductor, ó curvilínea, si está en curva.

Cuando el conductor no tiene dimensiones bien determinadas, que es, por decirlo así, indefinido en todos sentidos, como un brazo de mar en cuyas aguas se sumergieran á cierta distancia uno de otro los dos polos de una pila, la corriente se disemina en todos sentidos; pero con la circunstancia, añade De La-Rive, de que todos los hilos infinitamente delgados en que puede suponerse dividida, van á parar á los dos polos; por consiguiente no se puede asimilar la propagacion de la electricidad en un medio conductor, ni á la de la luz, ni á la del calor, en que los rayos emanan de un solo centro y marchan siempre en línea recta, mientras atraviesan el mismo medio; por otra parte, Wartman ha demostrado que la electricidad al propagarse no es susceptible de reflexion ni de refraccion; por consiguiente, no hay posibilidad, por ahora, de establecer una analogía entre la propagacion de los tres flúidos, como parecian hacerlo esperar las observaciones del profesor Forbes, segun las cuales, el órden de conductibilidad de los metales es exactamente el mismo para el calor y para la electricidad, como si la propagacion se hiciera en ellos de una manera análoga.

Si se recuerda la teoría de la pila, que hemos dado en el capítulo II, y la de la induccion, en el capítulo V, podemos formarnos una idea completa de la propagacion de la electricidad. En efecto, admitimos, tal como lo ha demostrado Faraday y confirmado Matteucci, que se verifica en todos casos por la neutralizacion de las electricidades opuestas de las partículas del cuerpo al través del cual se verifica la trasmision; neutralizacion precedida siempre de una induccion molecular, es decir, de la separacion de las electricidades en cada molécula. En los cuerpos buenos conductores estas inducciones y neutralizaciones sucesivas se verifican con gran rapidez; en los malos conductores se opera con tanta mas lentitud cuanto mas aislador es el cuerpo. Se ve, pues, que no

hay nunca propagacion de una sola electricidad; y la diferencia entre el caso en que el medio comunique con un solo cuerpo electrizado ó con dos cargados de electricidades contrarias, consiste solo en que en el segundo caso hay un efecto doble que en el primero; y puede verse que los dos efectos se suman en vez de destruirse, examinando la figura 161. En efecto, si se suponen dos séries de moléculas entre los cuerpos *A* y *B*, cargado el primero de electricidad positiva y el segundo de electricidad negativa, la série *a*, *b*, *c*, *d*, sobre las cuales supondrémos que obra *A*, se polarizará exactamente como la série *a' b' c' d'*, sobre la cual obra *B*; pero en realidad las dos séries, ó mas bien todas las séries de moléculas comprendidas entre *A* y *B*, están sometidas á la accion simultánea de *A* y de *B*, lo cual debe producir en ellas un efecto doble del que resultaria de la accion sola de *A* ó de *B*. Este principio es tan aplicable á una corriente continua como á una simple descarga.

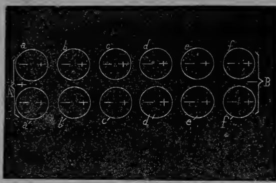


Fig. 161.

Despues de la rápida idea que acabamos de dar de la propagacion de la electricidad, podemos pasar á enunciar las leyes que la rigen, y que han deducido Ohm, Pouillet, Fechner y Wheatstone, los unos teóricamente, los otros de experimentos mas ó menos diferentes, pero que han conducido al mismo resultado.

Aunque ya dimos á conocer en el capítulo IV algunas de las leyes que vamos á estudiar, como no hicimos mas que enunciarlas, es conveniente que volvamos á tomarlas en consideracion, no así con el multiplicador de Schweigger, la brújula de senos y tangentes y el reóstato de Wheatstone, que han

servido para deducirlas; porque, aunque ligera, la descripcion que hemos hecho de ellos es mas que suficiente para comprender los métodos de experimentacion que se han empleado. Lo que recordarémos es lo que se entiende por *fuerza electro-motriz*, por *resistencia* y por *circúito reducido*.

Fuerza electro-motriz es la causa que en un circúito cerrado da orígen á una corriente eléctrica, y en un circúito abierto á una tension *electroscópica*.

Con la palabra *resistencia* se indica el obstáculo que opone á la marcha de la corriente el cuerpo al través del cual se la hace pasar.

Circúito reducido, como vimos en el capítulo IV, es el constituido por el alambre interpolar, ó que une los dos polos de la pila, y otro trozo de alambre de las mismas circunstancias, cuya longitud varia segun el generador eléctrico, puesto que ha de representar la resistencia que opone la pila misma al paso de la electricidad; es, pues, el *circúito* que componen la pila y el alambre interpolar, *reducido* á un circúito formado todo él por un alambre homogéneo. De ese modo pueden compararse las fuerzas electro-motrices con solo observar la longitud del alambre que se necesita para producir el mismo desvío en el galvanómetro, con dos circúitos en que haya distintos generadores; mientras que no sucederia lo mismo si fuera la longitud del generador la que se sumara con la del alambre interpolar; porque la resistencia en cada pila es muy variable con relacion á sus dimensiones.

Añadirémos á esta terminologia la que ha adoptado Wheatstone en sus explicaciones, y que puede aplicarse á las de todos los físicos, cualquiera que sea el generador eléctrico que hayan empleado para sus experimentos; pues está probado, sin que quede lugar á la menor duda, que aunque sea diferente el orígen de dos corrientes eléctricas continuas, las acciones no difieren entre sí, sino por la suma de sus fuerzas electro-motrices, modificada por la resistencia del circúito de que forman parte; razon por la cual, refiriéndose á circúi-

tos reducidos, ha encontrado Pouillet las mismas leyes para las corrientes hidro-eléctricas que para las termo-eléctricas que habia empleado como mas constantes.

Pero volviendo á la nomenclatura de Wheatstone, dirémos que emplea la palabra *reomotor* para designar todo aparato que da orígen á una corriente eléctrica; hablando de un solo elemento, lo llama *elemento reomotor*, y *série reomotriz* á lo que comunmente se llama *pila* ó *batería*, ya sea voltáica, ya termo-eléctrica. Como término general para expresar un instrumento que sirve para medir la fuerza de una corriente eléctrica, emplea la palabra *reómetro*, sin dejar por eso de usar convenientemente las de *galvanómetro* ó *voltámetro*, segun sea, como ya sabemos, un aparato fundado en la desviacion de la aguja magnética, ó en la descomposicion del agua por la accion de la corriente; aunque opina que podrian llamarse esos y otros, *reómetros galvánicos, químicos, caloríficos*, etc. Ya hemos dado en otra parte la explicacion de las palabras *reótomo, reótropo* y *reóstato*, con que nombra tres aparatos destinados á interrumpir, invertir y detener ó poner obstáculos á la corriente eléctrica.

Pasemos ya á ocuparnos de las leyes de la propagacion de la electricidad.

Propagacion de la electricidad en los buenos conductores.

Hemos dicho que no hay conductor perfecto de la electricidad absolutamente hablando, sino que todos los cuerpos oponen cierta resistencia á su propagacion; se consideran, sin embargo, como buenos conductores todos los que permiten una propagacion bastante rápida para que la corriente que resulte pueda obrar sobre la aguja imantada, y producir por consiguiente los fenómenos de la electro-dinámica. Esta definicion no es tampoco absoluta, porque un mismo cuerpo, el agua pura, por ejemplo, puede clasificarse ó no entre los buenos conductores, segun el generador eléctrico que se emplee, los medios de ponerlo en comunicacion con dicho apa-

rato y las condiciones físicas en que se encuentra; pero nada importa cuando se trata solo de deducir las leyes.

La primera con que nos encontramos al estudiar la propagacion de la electricidad en un conductor, *es la tendencia que tiene la corriente eléctrica á distribuirse ó mas bien diseminarse en toda la extension del conductor.* Esta ley ha sido establecida por De La-Rive, para los conductores sólidos en 1824, y para los líquidos en 1825, y la demuestra introduciendo en una balanza de torsion una plancha larga de metal, atravesada por una corriente y colocada frente á un conductor astático colgado del hilo de la balanza y atravesado por otra corriente; cualquiera que sea la seccion de la plancha que se presente á la rama vertical del conductor, los ángulos de torsion son los mismos, ya sea para ponerlos en contacto, ya para separarlos, segun se hagan pasar las corrientes en distinto ó en el mismo sentido, en la plancha y en el conductor astático.

Estos experimentos conducen á admitir que la corriente eléctrica, al entrar en un conductor sólido, se reparte en toda la extension del conductor en hilos paralelos, de igual intensidad todos; de donde resulta necesariamente que mientras menos considerable sea la extension, mas condensada estará la corriente eléctrica, y mayor será su intensidad en cada trozo del conductor; resultado que confirma plenamente el experimento citado, cuando se emplea una lámina conductora de un espesor uniforme, pero mas ancha en ciertos puntos. Esa misma condensacion de la corriente se demuestra por el poder que posee la parte estrecha de la plancha conductora de atraer las limaduras de hierro, mientras que la parte ancha no atrae la menor cantidad; á la misma causa se debe el desarrollo de calor que se manifiesta al pasar la corriente eléctrica por las partes estrechas de un conductor, cuyas porciones anchas no cambian sensiblemente de temperatura, aun cuando están atravesadas por la misma corriente durante el mismo tiempo.

La ley que acabamos de establecer no se verifica de una

manera exacta sino en los conductores en que la longitud es muy superior á las otras dimensiones, es decir, en el caso de la propagacion lineal. En los demás la ley es menos sencilla, aunque siempre conforme á la misma teoría.

La electricidad dinámica manifiesta esa misma tendencia á diseminarse en un conductor líquido susceptible de descomponerse; se observa que la porcion de corriente que atraviesa la lámina líquida comprendida entre los dos polos, es la mas considerable, y que aumenta de intensidad á medida que se aproxima á los polos; se encuentran además corrientes en todas las partes del líquido, aun detrás de los polos. La difusion es tanto mas pronunciada, cuanto menos buen conductor es el líquido.

La segunda ley á que está sometida la propagacion de la electricidad en un conductor es, *que dos ó varias corrientes eléctricas pueden propagarse en el mismo conductor sin modificarse mútuamente, y de una manera por lo tanto independiente unas de otras*. Marianini ha demostrado esta propiedad haciendo pasar dos corrientes en ángulo recto por un líquido contenido en un vaso cúbico, y observando que la intensidad era la misma, ya atravesasen el líquido á un mismo tiempo, ya separadamente; otra corriente en sentido de las otras dos caras del cubo puede atravesar el mismo líquido, como si no hubiera ya otras dos en él. Esta independencia en la propagacion de las corrientes se ha establecido tambien, haciendo pasar dos y aun tres corrientes al través de una columna líquida en direcciones mas ó menos oblícuas, y aun trasmitiéndolas al través del alambre de un mismo galvanómetro, sobre el cual el efecto observado es siempre la suma ó la diferencia de los efectos de cada una de las corrientes parciales. (De La-Rive.)

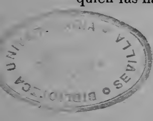
La tercera ley es *la diminucion de intensidad que experimenta la electricidad al propagarse al través de una masa líquida cuando encuentra al paso láminas ó diafragmas metálicos interpuestos en líquido*. Esta ley ha sido demostrada en 1825 por

De La-Rive, y mas tarde por Marianini, Matteucci y otros físicos, interponiendo planchas metálicas en un líquido, y observando la diminucion de intensidad de la corriente inicial por los reómetros galvánico, químico y calorífico. Hay pues, independientemente de la resistencia propia que oponen un líquido y un sólido á la trasmision de la corriente eléctrica, una resistencia particular debida al solo hecho del paso de una corriente de un sólido á un líquido, ó de un líquido á un sólido. Esta resistencia, que llaman los físicos *resistencia al paso*, se verifica siempre que se hace pasar una corriente por un líquido, porque no se puede prescindir de emplear electrodos ó conductores sólidos para introducir el líquido en el circúito.

La cuarta ley que rige la propagacion de la electricidad es, que *la misma cantidad de este flúido recorre en el mismo tiempo todas las partes sucesivas de un circúito cerrado, incluso el aparato mismo que produce la corriente*, cualesquiera que sean su naturaleza, su forma y su extension; circunstancias que no influyen sino en la cantidad absoluta de electricidad que circula, y no sobre su intensidad relativa en las diferentes partes del circúito. Así, si en el mismo circúito se tiene una pila, despues un alambre que comunica uno de sus polos con un líquido, y dos ó varios alambres paralelos, que partiendo de este líquido van á parar al otro polo, la cantidad de electricidad que en forma de corriente atraviesa la pila misma, el primer alambre metálico, el líquido y los dos ó varios alambres paralelos, es exactamente igual. Es claro que si este último sistema de conductor se compone de dos alambres, y los dos son perfectamente iguales, la cantidad que circula en cada uno de ellos es la mitad que en el primer alambre, sería la tercera parte si hubiera tres alambres iguales; pero en los dos ó en los tres reunidos es en totalidad la misma que en el primero, es decir, que dando secciones trasversales en toda la extension del circúito, la cantidad de electricidad que pasa por cada una de estas secciones es igual en todas ellas,

pero estará mas ó menos condensada, segun hemos visto por la ley primera que se ha enunciado. Ampere habia entrevisto ya esta ley; Becquerel y De La-Rive la han justificado con diferentes hechos, y Pouillet y Fechner la han demostrado de una manera directa, el primero colocando todos los elementos sucesivos de una pila termo-eléctrica en el meridiano magnético, juntamente con el conductor destinado á cerrar el circúito, y asegurándose de que una aguja imantada experimentaba siempre la misma desviacion, cualquiera que fuese la parte del circúito que se le presentara. Fechner ha obtenido los mismos resultados, haciendo oscilar una aguja imantada sobre diferentes porciones sólidas de un circúito voltáico.

Resulta de esta cuarta ley que *la intensidad absoluta de la electricidad que atraviesa en forma de corriente un circúito cerrado, no depende sino de dos circunstancias : de la fuerza ó las fuerzas que producen la electricidad, que hemos llamado fuerzas electro-motrices, y de las resistencias á la conductibilidad que presenta el conjunto del circúito.* Varios físicos reclaman el mérito de haber dado á conocer esta ley; Pouillet, al declarar que la idea y la demostracion es suya, confiesa que la prioridad de Ohm es incontestable, puesto que enunciaba la idea en una obra publicada en 1827; pero que la enunciaba bajo una forma abstracta é hipotética. De La-Rive dice que habia sido indicada por él en 1825, y que Ohm habia llegado á admitirla por una série de especulaciones puramente teóricas. Poggendorff y los físicos alemanes han reclamado, por conducto del abate Moignó, todo el mérito para Ohm, asegurando no ha dado sus leyes como consecuencia de una pura hipótesis, sino que las ha demostrado realmente por medio de experimentos directos, hechos en 1825 con la pila termo-eléctrica. Lo cierto es que las leyes que establecen cierta relacion entre la potencia y la resistencia en la propagacion de la electricidad, han recibido el nombre de *leyes de Ohm*, quien las ha enunciado de esta manera :



En un circúito cerrado, la fuerza de la corriente es directamente proporcional á la suma de las fuerzas electro-motrices que están en actividad en el circúito; é inversamente proporcional á la resistencia total ó á la suma de las resistencias de todas las partes del circúito. Llamando E á las fuerzas electro-motrices, y R á las resistencias, se tendrá esta ley expresada por la siguiente fórmula, en que I representa la intensidad de la corriente; $I = \frac{E}{R}$, es decir, que *la intensidad de la corriente es igual á la suma de las fuerzas electro-motrices, dividida por la suma de las resistencias;* fórmula confirmada por la experiencia.

Otra ley, consecuencia inmediata de la que precede es, que si se aumenta ó se disminuye la resistencia de una parte cualquiera del circúito, la intensidad total de la corriente disminuye ó aumenta, permaneciendo idénticas las demás circunstancias, en una proporcion igual á la que existe entre la resistencia añadida ó quitada, y la nueva resistencia total del circúito entero.

Si en la fórmula $I = \frac{E}{R}$, R se convierte en $R+r$ ó $R-r$, se tendrá $I = \frac{E}{R+r}$ ó $I = \frac{E}{R-r}$; la intensidad de la corriente variará por consiguiente en uno y otro caso; llamándola I' en el primero é I'' en el otro, se tiene:

$$I : I' : I'' :: \frac{E}{R} : \frac{E}{R+r} : \frac{E}{R-r} :: \frac{1}{R} : \frac{1}{R+r} : \frac{1}{R-r};$$

de donde se deduce:

$$I - I' : I :: r : R+r \text{ y } I'' - I : I :: r : R-r;$$

es decir, que la diminucion de intensidad es á la intensidad primitiva, como la resistencia r añadida es á la nueva resistencia total $R+r$; y que el aumento de intensidad $I''-I$ es á la intensidad primitiva como la resistencia r suprimida es á la resistencia nueva total $R-r$.

Fechner ha verificado experimentalmente la exactitud de esta ley por medio de las oscilaciones que ejecuta una aguja imantada bajo la accion de la corriente; y ha concluido de ello que una pila cuya fuerza electro-motriz se representara por 1, teniendo reunidos los polos por un conductor cuya

resistencia fuera tambien 1, y en que 9 expresase la resistencia de la pila misma, tendria una fuerza representada por $\frac{1}{9+1}=\frac{1}{10}$. Duplicando la resistencia del conductor, es evidente que no se reduce á la mitad la fuerza de la pila, sino á $\frac{1}{9+1+1}=\frac{1}{11}$ en vez de $\frac{1}{10}$. Si la resistencia del conductor interpuesto entre los polos de la pila fuera nueve veces la de la pila, entonces duplicando esta resistencia, la fuerza de la pila que era $\frac{1}{1+9}=\frac{1}{10}$ se convertiria en $\frac{1}{1+18}=\frac{1}{19}$. De donde se deduce que mientras mayor es la resistencia del conductor interpuesto entre los polos, menos grande es la influencia de la resistencia de las otras partes del circúito.

Pouillet ha obtenido los mismos resultados empleando la brújula de tangentes que hemos descrito en el capítulo IV, é interponiendo conductores de diferente longitud. A la resistencia total del circúito (compuesta de las resistencias del elemento de Daniell, que empleaba como generador, del alambre del galvanómetro y de los conductores destinados á establecer la comunicacion), la llama R antes de introducir los conductores de diferente longitud; añadidos estos despues, la resistencia se convierte en $R+5$ metros, $R+10$ metros, etc., y resulta la tabla siguiente:

Resistencias.	Desviaciones observadas.	Tangentes de las desviaciones.
R.	62° 00′. . . .	1,880
$R+$ 5. . .	40° 20′. . . .	0,849
$R+$ 10. . .	28° 30′. . . .	0,543
$R+$ 40. . .	9° 45′. . . .	0,172
$R+$ 70. . .	6° 00. . . .	0,105
$R+$100. . .	4° 15. . . .	0,074

Comparando la primera observacion con las demás, y valiéndose de la fórmula $I—I' : I :: r : R+r$, se verá cuán exactas son la ley y la fórmula deducida, pues sustituyendo en esta sucesivamente los valores de la tabla, es decir, 1,880 en lugar de I; 0,849, 0,543, etc., en lugar de I'; 5, 10, 40 metros, etc., en lugar de r, y despejando R,

se obtiene para esta en los diversos casos $4^m,11$; $4^m,06$; $4^m,01$; $4^m,14$ ó $4^m,09$; valores que difieren muy poco entre sí, y cuyo término medio $4^m,08$ indica la resistencia del circúito primitivo, representada por $4^m,08$ de longitud del alambre empleado para los conductores, que es la que hemos llamado *longitud reducida* del generador, y que hemos dicho se añade á la longitud del conductor para formar el circúito reducido (pág. 345).

Hay otras dos leyes importantes, que se deducen implícitamente de las precedentes, pero que pueden demostrarse directamente. Estas leyes son : *la resistencia que presenta un conductor cualquiera al paso de la corriente, es proporcional á su longitud y está en razon inversa de su seccion.* Los números obtenidos en la demostracion de la ley anterior, y confirmados por una multitud de experimentos, prueban suficientemente la verdad de la ley relativa á la longitud del conductor, pues los alambres empleados eran del mismo diámetro y de la misma naturaleza. La segunda ley, que establece que la intensidad de la corriente es proporcional á la seccion, ó lo que es lo mismo, que la resistencia está en razon inversa de la seccion del conductor, se demuestra por el mismo procedimiento, ya componiendo circúitos con dos, tres, cuatro alambres paralelos del mismo diámetro y longitud, ya cambiando en cada caso los alambres por otros de la misma longitud, pero de diámetros diferentes. Pouillet ha repetido sus experimentos con alambres laminados para probar que la superficie no tiene ninguna influencia. Tampoco la tienen, dice, las soldaduras, con tal que todos sus puntos adquieran la misma temperatura.

La ley de las longitudes y de las secciones se aplica de la misma manera á los conductores líquidos como á los sólidos; pero para demostrarla es menester tener presente que al introducir los electrodos en el líquido hay una disminucion de intensidad producida por la *resistencia al paso*, que hemos explicado ya.

Otra ley muy importante, consecuencia tambien de las precedentes, y confirmada por la experiencia, es la del *paso de la corriente por dos conductores paralelos colocados en el circúito.* Si los conductores son de la misma naturaleza, del mismo diámetro y de la misma longitud, condiciones que realizan dos alambres metálicos semejantes, es evidente que la corriente se divide igualmente entre ellos, como lo han demostrado los experimentos directos de Pouillet, que hemos citado para la ley de las secciones. Pero si son de longitudes diferentes, conservando el mismo diámetro y siendo de la misma naturaleza, la corrriente que atraviesa cada uno de ellos es proporcionalmente inversa á su longitud y la intensidad de la corriente total es la misma que si en vez de dos alambres de una longitud m y n, se colocara en el circúito uno solo de una longitud $\frac{mn}{m+n}$ (1). O mas generalmente si a y b representan las resistencias respectivas de los dos conductores interpuestos paralelamente en el circúito, la resistencia completa de los dos conductores es la misma que la de un conductor único cuya resistencia tuviera por expresion $\frac{ab}{a+b}$. Los dos conductores pueden diferir por su naturaleza, su longitud ó su seccion, ó por las tres causas reunidas; pero para que se verifique la ley es menester que ambos sean metálicos ó ambos líquidos, por la resistencia al paso que de lo contrario tendria lugar en uno de los dos. Poggendorff ha puesto en evidencia esta excepcion importante de la ley.

La teoría de las *corrientes derivadas* es una consecuencia de la ley que acabamos de exponer.

Cuando en un circúito cerrado se reunen dos puntos de él

(1) En efecto, segun la ley de las longitudes, llamando i' y i'' á las intensidades de las dos corrientes parciales que pasan respectivamente por los alambres de la longitud m y n; siendo $i'+i''=i$ intensidad de la corriente total, se tiene $i' : i'' :: n : m$, ó lo que es lo mismo $i'+i'' : i' :: n+m : n$.

De donde $\frac{i'}{i'+i''} = \frac{n}{n+m}$

Se tiene tambien $i'+i''=i : i' :: m : x$, siendo x la longitud buscada.

De donde $x = \frac{i'}{i'+i''} \times m = \frac{mn}{n+m}$

por un conductor adicional, se hace una *derivacion* de la corriente. Los dos puntos del circúito donde empieza y termina el nuevo conductor, se llaman *nudos* ó *puntos de derivacion*, y el intervalo que los separa, la *distancia* ó *intervalo de derivacion*. A la porcion de corriente que pasa por este alambre secundario se llama *corriente derivada*, á la que continúa pasando por la parte del circúito comprendido entre los dos puntos de derivacion, *corriente parcial*; *corriente primitiva* á la que existia antes de haber hecho la derivacion, y *corriente principal* á la que pasa despues de haberse reunido la corriente parcial y la corriente derivada que pasaba por el *alambre de derivacion*.

Es fácil, valiéndose de los principios y de las leyes que hemos encontrado, determinar las intensidades de la corriente principal, de la derivada y de la parcial, conociendo la de la corriente primitiva, la longitud reducida del circúito primitivo, la distancia de los puntos de derivacion y la conductibilidad ó la resistencia del alambre de derivacion. No nos detendrémos, pues, en deducir las fórmulas para cada una de estas intensidades, sino que presentarémos ya el resultado final, recomendando á los que quieran seguir la marcha de la operacion el párrafo 278 de la tercera edicion del *Tratado de física* de Pouillet. Las fórmulas son:

$$x = t\,\frac{kp+1}{kp+1-n}$$
$$y = t\,\frac{kp}{kp+1-n} \qquad t = \frac{E}{R}$$
$$z = t\,\frac{1}{kp+1-n}$$

Fórmulas en las cuales

x = representa la intensidad de la corriente principal,
y = la de la corriente parcial,
z = la de la corriente derivada,
t = la de la corriente primitiva,
n = la relacion del intervalo de derivacion á la longitud del circúito primitivo,

k = la relacion de la longitud del alambre de derivacion á la del intervalo de derivacion,

p = la relacion de las secciones del intervalo de derivacion y del alambre de derivacion,

E = la fuerza electro-motriz,

R = la resistencia que experimenta la corriente primitiva.

De estas fórmulas, sustituyendo ó suponiendo valores á las letras, se sacan una multitud de consecuencias importantes.

Si el valor de n, por ejemplo, se supone muy pequeño, es decir, si el intervalo de derivacion es muy corto, la corriente principal es igual á la corriente primitiva, es decir, que esta no se altera por la derivacion. Si por el contrario $n=1$, es decir, si la derivacion se hace lo mas cerca posible del orígen ó del generador, la corriente parcial resulta por la fórmula igual á la corriente primitiva, es decir, que toda la electricidad que pasaba por el antiguo circüito sigue pasando sin ninguna modificacion, y el generador comunica directamente al alambre adicional de derivacion, toda la cantidad de electridad que conviene á su longitud, á su seccion y á su conductibilidad; por consiguiente, si la longitud del alambre de derivacion es igual entonces al intervalo de derivacion, la fórmula debe dar y da en efecto, que la intensidad de la corriente derivada es igual á la de la corriente primitiva cuando la seccion es la misma, ó $p=1$; doble cuando la seccion es doble, ó $p=\frac{1}{2}$ etc., y que la corriente principal no cesa de ser igual á la suma de la corriente parcial y de la derivada, lo cual equivale á decir en último resultado, que la intensidad de la corriente es proporcional á la seccion del circüito, segun se habia demostrado, pág. 253.

Si el valor de k se modifica, permaneciendo igual la longitud del alambre de derivacion, y disminuyendo cada vez mas el intervalo de derivacion, k irá aumentando, y su valor llegará á ser infinito cuando el intervalo sea nulo, es decir, cuando los dos puntos de derivacion estén infinitamente cerca uno de otro; entonces, segun la fórmula, no hay

corriente en el alambre de derivacion. Por el contrario, á medida que el intervalo de derivacion aumenta, si el alambre de derivacion permanece siempre el mismo, los valores de k disminuyen cada vez mas y pueden aproximarse á 0 cuando el alambre de derivacion es muy corto con respecto al intervalo de derivacion, y entonces, segun la fórmula, no hay corriente parcial sensible, toda la electricidad pasa por el alambre de derivacion, y la corriente derivada es igual á la corriente principal, que es á su vez mucho mayor que la corriente primitiva, tanto mayor cuanto mas se aproxima n á ser igual á la unidad, es decir, cuanto mas se aproxima al generador el primer punto de derivacion.

Siendo p la relacion de las secciones del intervalo de derivacion y del alambre de derivacion, se concibe que si estas secciones se cambian en uno y en otro en la misma proporcion, permaneciendo iguales sus longitudes, las intensidades relativas de la corriente parcial y de la corriente derivada seguirán siendo las mismas; pero sus intensidades absolutas cambian, porque cambia n, es decir, la relacion entre las longitudes del circúito primitivo y del alambre de derivacion.

Cuando los valores de p y de k son grandes y el de n pequeño, es decir, cuando el alambre de derivacion no está distante del generador y no tiene menos longitud ni menor seccion que el intervalo de derivacion, la corriente derivada es proporcional á la seccion del alambre de derivacion.

En las fórmulas citadas se ha supuesto que la conductibilidad del alambre es siempre igual en el circúito primitivo y en el de derivacion; pero de no ser así, habria que introducir en ellas las modificaciones necesarias; cosa que no es difícil, porque siendo los efectos de la conductibilidad los mismos que los de la seccion, si se representa por c la conductibilidad del circúito primitivo, y por $\frac{c}{p'}$ la del alambre de derivacion, no habria mas que sustituir en las fórmulas $p\,p'$ en vez de p.

Se puede concluir en último resultado de las observaciones y experimentos verificados sobre las derivaciones hechas con

un mismo alambre de derivacion en circúitos primitivos de diferentes secciones : *que la intensidad de la corriente derivada está en razon inversa de la seccion del alambre en el intervalo, y en razon inversa tambien de su conductibilidad.*

Cuando despues de haber hecho una derivacion, se hace la segunda en otra porcion del circúito, es fácil encontrar las intensidades de las dos corrientes parciales y de las dos corrientes derivadas; estas derivaciones reciben el nombre de *derivaciones múltiples*, y sus fórmulas se deducen de las que se han expuesto.

Wheatstone ha aplicado las propiedades de las corrientes derivadas á la construccion de aparatos destinados á medir, ya las resistencias, ya las intensidades de las corrientes, y con ellos parece que ha reemplazado ventajosamente el *reóstato* que él mismo ha imaginado, segun vimos en el capítulo v, y del cual se ha servido para determinar las condiciones mas ventajosas para la produccion de efectos eléctricos al través de circúitos de una gran extension. (Véase la 2.ª edicion del *Tratado de telegrafía* del abate Moigno, 1852.)

Entre las varias cuestiones que tienen relacion con la teoría de las corrientes derivadas, hay una que ha ocupado mucho á los físicos, y es la de saber si un mismo conductor puede ser atravesado al mismo tiempo por dos corrientes dirigidas en sentido contrario.

Bajo el punto de vista teórico, estamos enteramente de acuerdo con De La-Rive, que encuentra difícil admitir que las moléculas sucesivas de un conductor puedan trasmitir á la vez dos corrientes dirigidas en sentido contrario; porque seria preciso para eso que las partículas fuesen á la vez polarizadas en dos sentidos opuestos, lo cual es imposible. Es mas probable que si las dos corrientes contrarias son perfectamente iguales, las dos polarizaciones opuestas se destruyan y que no haya ninguna propagacion de electricidad. Si las dos corrientes son desiguales, las moléculas se polarizan con una intensidad igual á la diferencia de las dos corrientes; no pasa

por consiguiente, al través del alambre conductor sino una corriente que es la diferencia de las dos contrarias. Si las dos corrientes, en vez de atravesar ó venir á parar á los extremos de la misma fila de moléculas, como sucede con un alambre conductor ordinario, vinieran á un conductor de grandes dimensiones, pudiera ser que ambas pasaran en sentido contrario por el mismo conductor, pero propagadas por séries diferentes de moléculas; sin embargo, es difícil, atendida la tendencia á la diseminacion, que haya una independencia completa y que su presencia simultánea en el mismo conductor no modifique su marcha.

En cuanto á la cuestion práctica, los experimentos que se han hecho, uniendo por medio de dos alambres los polos opuestos de dos pilas, y á su vez estos dos alambres directamente por otro trasversal, no son concluyentes; porque la constancia observada en la intensidad de la corriente, ya empleando el conductor trasversal ó suprimiéndole, puede explicarse del mismo modo si se supone que aquel no trasmite porcion alguna de la corriente, ó bien si admitimos que por derivacion da paso á cierta porcion de corriente del conductor de cada una de las pilas.

Hay otro experimento que nos parece mas decisivo, debido á M. Petrina de Praga, fundado en un hecho notable descubierto por Peltier, y es que una corriente eléctrica al atravesar un par de bismuto y antimonio, calienta la soldadura cuando va del antimonio al bismuto, y la enfria cuando va del bismuto al antimonio.

El aparato de que se sirvió para sus experimentos era una especie de termómetro de aire, soldado á la extremidad superior de un tubo capilar, que entraba en un líquido coloreado. El elemento termo-eléctrico, formado de bismuto y de antimonio, atravesaba el globo del termómetro, cuyas paredes tenian dos orificios, á los que se aseguraba el elemento con betun; y dos gruesos alambres de cobre fijos en las extremidades de este iban á unirse á los dos polos de una pila de Grove.

Cuando se calienta la bola de vidrio con la mano, lo suficiente para que se escapen algunas burbujas de aire al través del tubo y del líquido, se observa, despues de enfriarse la bola, que el líquido se eleva algunas pulgadas en el tubo, de manera que comparando sobre una escala dividida en pulgadas y décimos, se pueden apreciar todas las variaciones de temperatura que hay en el interior de la bola.

Así dispuesto el aparato, se dirige una misma corriente eléctrica sucesivamente en los dos sentidos al través del elemento termo-eléctrico, y se observa constantemente que el enfriamiento no es sino una fraccion del calentamiento, ó que la extension de la columna líquida producida por el enfriamiento es mucho menor que la depresion por la elevacion de temperatura. Resulta de esto que si se dirigen á la vez dos corrientes de igual intensidad, pero en sentido contrario, al través del elemento termo-eléctrico, la parte superior de la columna líquida debe bajar, si las corrientes coexisten y se superponen, puesto que la elevacion de temperatura producida por la una ocasiona un descenso mayor en la columna que el ascenso producido por el enfriamiento, mientras que si permanece inmóvil, es prueba de que las dos corrientes se destruyen ó no existen al mismo tiempo. Para no emplear dos pilas, que es casi imposible obtener de igual intensidad, M. Petrina ha recurrido á dòs corrientes derivadas de una principal, y haciéndolas circular al través del mismo galvanómetro, alargaba ó acortaba los alambres introducidos en el circúito hasta que la desviacion fuese rigurosamente nula. Ahora bien, como al pasar en sentido contrario por el termómetro, las dos corrientes igualadas no produjeron nunca depresion, mientras que por el contrario causaban un movimiento en el líquido del tubo siempre que se destruia la igualdad, M. Petrina ha creido con algun fundamento que el conductor atravesado por dos corrientes en sentido contrario, no deja pasar en realidad sino la diferencia entre ambas.

Sosteniendo Du Moncel la opinion contraria, cita el expe-

rimento de Masson en el huevo filosófico, y dice que viéndose al mismo tiempo la luz azul en las dos bolas del huevo, cuando pasan al través de este dos corrientes contrarias, procedentes de dos máquinas de induccion, mientras que si lo atraviesa una sola no aparece la luz azul sino en una de ellas, es prueba de que las dos corrientes lo atraviesan al mismo tiempo. Pero esta razon no es concluyente, porque no siendo rigurosamente continuas las corrientes de induccion, puede pasar la una mientras no pasa la otra, y si los intervalos de tiempo son menores que lo que necesita la impresion de la luz para desaparecer de la retina, pueden verse las dos luces azules simultáneamente, aunque en realidad no se produzcan así. Cuando el sincronismo de los dos aparatos es perfecto, lo cual nos parece casi imposible de obtener, dice M. Gaugain que el efecto es debido á corrientes derivadas que se establecen al través de las cubiertas aisladoras, y que el fenómeno de las dos luces se produce con una sola corriente cuando se aumentan las resistencias del circúito.

Conductibilidad eléctrica de los cuerpos.

Ya dijimos en el capítulo primero y hemos repetido en este, que no hay ningun conductor perfecto, y que todos los cuerpos presentan una resistencia mas ó menos grande á la propagacion de la electricidad; de la misma manera las sustancias mas idio-eléctricas pueden trasmitir mas ó menos electricidad; pero es preciso para conseguirlo con las que llamamos aisladoras, como las resinas, el vidrio, la gutta-percha, el aire atmosférico, etc., un generador eléctrico de mucha intensidad; y aun con el orígen de electricidad mas enérgico que se conoce, con el rayo por ejemplo, dichas sustancias no trasmiten la electricidad bajo la forma que constituye el estado dinámico, sino que la propagan con demasiada lentitud para obrar sobre la aguja imantada, ó con demasiada rapidez, y se quebrantan por la accion de la descarga, de modo que no puede haber una corriente.

Hemos dicho que solo llamarémos conductores á los cuerpos que permiten el paso de la electricidad de manera que pueda esta ejercer su accion sobre la aguja magnética; y la diferente conductibilidad de esos cuerpos es la que vamos á examinar con respecto á su naturaleza y á varias circunstancias físicas, pues con respecto á sus dimensiones la acabamos de estudiar.

La determinacion de la conductibilidad de los cuerpos es un problema de los mas difíciles de resolver, porque además de estar fundada en principios muy complexos, exige aparatos dotados á la vez de gran sensibilidad y de una extraordinaria precision. No entrarémos pues á profundizar dicho estudio, ni nos detendrémos en la explicacion de los métodos que se han empleado (fundados en el mismo principio que aquellos con que se determina la conductibilidad para el calórico), pues aunque no es enteramente igual la manera con que se propagan los dos flúidos, los recientes experimentos de Kohlrausch prueban que la asimilacion entre la propagacion de la electricidad y del calórico al través de un cuerpo conductor no puede ser mas natural. Segun los experimentos de este físico, si los dos polos de una pila se reunen por dos alambres de la misma naturaleza y de la misma longitud, pero de diámetros diferentes y soldados extremo con extremo, de manera que no formen sino un conductor continuo, *la tension eléctrica aumenta en cada uno de los alambres en la misma progresion, á partir del punto de contacto, el cual se hace comunicar de antemano con el suelo; pero las tensiones absolutas en cada uno de los alambres son inversas de las secciones.* Cuando en vez de dos alambres de la misma, se toman dos de diferente naturaleza, pero del mismo diámetro, de manera que el uno presenta mucha mas resistencia que el otro, se ve que *las tensiones absolutas en las extremidades de cada alambre son proporcionales á sus resistencias respectivas,* determinadas por medio del reóstato de Wheatstone, que ya conocemos.

Los mismos resultados se obtienen sirviéndose de un con-

ductor líquido, y con él se puede demostrar además que *la tension es la misma en todos los puntos de la seccion trasversal.* Puede, pues, considerarse cada capa trasversal de un conductor homogéneo, como cargada de cantidades diferentes de electricidad en las dos caras, pero repartida uniformemente en cada una de ellas; cantidades que para una fuerza electro-motriz constante, difieren tanto mas, cuanto mayor es la resistencia de la capa á la propagacion de la electricidad.

Comparando los resultados de estos experimentos con la teoría que hemos emitido sobre la propagacion de la electricidad por la polarizacion de las moléculas consecutivas, podemos decir que la *resistencia á la conductibilidad no es mas que la suma de las resistencias que oponen las partículas sucesivas á su polarizacion eléctrica y á la neutralizacion de sus electricidades contrarias.* Cada partícula ó molécula física posee como una fuerza coercitiva ó aisladora mas ó menos grande que se opone á la separacion de las dos electricidades en ella; y despues de verificada esta separacion, existe una resistencia á la reunion de las electricidades contrarias de dos partículas consecutivas, sea por su distancia mútua mas ó menos grande, sea por su naturaleza mas ó menos *cohibente.* Teniendo en cuenta estos dos elementos tan diferentes, es como se puede explicar que la misma circunstancia exterior, por ejemplo la elevacion de temperatura, puede en unos casos favorecer y en otros disminuir la conductibilidad, segun obra sobre las partículas mismas ó sobre sus posiciones relativas.

Es probable que los efectos de calor, de luz y los sacudimientos fisiológicos que acompañan casi siempre la trasmision de la electricidad dinámica, si la resistencia no es muy débil, estén íntimamente unidos con las dos causas de resistencia que hemos indicado. En cuanto á las descomposiciones químicas, deben provenir esencialmente de la disposicion que la polarizacion de las partículas determina en el agrupamiento de los átomos de que se componen y en las pertur-

baciones que ocasionen en dicha disposicion las descargas que siguen á la polarizacion.

Priestley, Harris y Ries propusieron determinar el poder conductor de los metales por medio de descargas eléctricas; Wilkinson valiéndose de una corriente eléctrica en vez de las descargas, siguió el mismo método fundado en el principio admitido *à priori* de que el grado de temperatura á que se eleva un alambre es inverso de su conductibilidad eléctrica.

Christie empleaba otro método fundado en el hecho, observado por Faraday, de que la intensidad de las corrientes de induccion es proporcional al poder conductor de las sustancias sometidas á la induccion.

Tomando alambres de varios metales, de la misma longitud y del mismo diámetro, y viendo cuántos pares voltáicos podia descargar cada uno de ellos, consiguió Davy establecer directamente las dos leyes generales de la conductibilidad, á saber: *que los poderes conductores están en razon inversa de las longitudes y en razon directa de las secciones de los alambres metálicos que conducen la electricidad.*

Por métodos mas exactos han conseguido despues Becquerel y Pouillet confirmar las leyes encontradas por Davy y determinar los poderes conductores de varios metales; pero las resultados numéricos obtenidos por el primero con el galvanómetro diferencial, no concuerdan con los del segundo, sin duda por algunas diferencias en la constitucion molecular de los metales sometidos á los experimentos.

Valiéndose del reóstato de Wheatstone, Becquerel ha formado tablas de las cuales resulta, que haciendo los experimentos con un solo alambre de hierro, *la resistencia que determina la introduccion del alambre en el circúito aumenta en efecto en proporcion á la longitud del alambre,* ó lo que es lo mismo, *que su conductibilidad es inversa á su longitud.*

De los experimentos hechos con dos alambres de hierro de la misma longitud, pero de diferente diámetro, resulta que *el aumento de resistencia ocasionada por la introduccion en el*

circúito de dos alambres de hierro de la misma longitud, está en razon inversa de los cuadrados de los diámetros.

El poder conductor de los metales es mayor cuando está recocido que cuando está batido, y la temperatura influye tambien de una manera notable. La variacion de la conductibilidad, segun Becquerel, sigue de una manera bastante regular en el mismo metal la variacion de temperatura, y generalmente son proporcionales; pero difiere mucho de un metal á otro, y no está en relacion con su conductibilidad absoluta.

La conductibilidad eléctrica del carbon no se ha determinado nunca con exactitud, por las diferencias que presenta desde el diamante, que es un buen aislador, hasta el grafito, que conduce perfectamente. M. Kemp ha hecho conocer la influencia que ejerce en el carbon de leña la élevacion de temperatura; contra lo que sucede en los metales, aumenta considerablemente su poder conductor, y difiere tambien en que es permanente, es decir, que el hecho de haber estado expuesto á una temperatura elevada es lo que lo hace mejor conductor. La determinacion de los poderes conductores de los líquidos se ha obtenido siguiendo los mismos procedimientos que para los sólidos; teniendo, sin embargo, presentes dos circunstancias que no ocurrian allí. La primera es la resistencia al paso, por el contacto del líquido con el electrodo de metal, y la segunda es la alteracion que sufre el líquido sometido al experimento, por efecto de la descomposicion química.

Becquerel, que ha hecho experimentos muy delicados, particularmente sobre la influencia que ejerce en la conductibilidad de diferentes disoluciones salinas, la cantidad mas ó menos grande de agua que encierran, ha encontrado que si el poder conductor de una disolucion saturada de sulfato de cobre es 5,42, diluido de modo que el volúmen sea doble, solo es de 3,47; y si se añade agua hasta que el volúmen sea cuádruplo, el poder conductor se reduce á 2,08.

Pouillet, empleando el método de Wheatstone, diferente del usado por Becquerel, ha obtenido resultados muy aproximados; segun dichos experimentos, el poder conductor del sulfato de cobre es diez y seis millones de veces mas débil que el del cobre.

Becquerel ha observado que en algunas sales, como el nitrato de cobre y el sulfato de zinc, el poder conductor aumenta á medida que se hace mas débil la disolucion, hasta cierto límite, en que llega á su máximum, y despues disminuye; de manera que se pueden tener dos disoluciones, una muy concentrada, y otra muy diluida que tenga la misma conductibilidad. De La-Rive habia observado el mismo fenómeno con el ácido sulfúrico, y lo mas notable es que la disolucion que conducia mejor, era precisamente la que ejercia una accion química mas viva sobre los metales oxidables, como el zinc, el hierro, etc.

Es pues evidente que existe una relacion entre la conductibilidad eléctrica de los líquidos y sus propiedades químicas.

La influencia de la temperatura, segun los experimentos de Becquerel y de Hankel, es tambien muy sensible sobre el poder conductor de los líquidos, pero contraria á la que ejerce sobre los metales, es decir, que la elevacion de temperatura aumenta la conductibilidad de los líquidos en vez de disminuirla. Este hecho habia sido ya observado por Marianini en 1826. En estos experimentos es menester tener en cuenta la influencia de los electrodos, porque basta calentar fuertemente un electrodo de platino, sin elevar de una manera sensible la temperatura del líquido, para facilitar notablemente la trasmision de una corriente, y hacer subir de 12° á 30° su intensidad en el galvanómetro. Pero lo que hay de mas curioso es, que este resultado no se obtiene sino cuando se calienta el electrodo negativo, la elevacion de temperatura del positivo no tiene influencia ninguna. El efecto en general proviene de una accion química facilitada por el calor que

destruye la polarizacion del electrodo, que contribuia á disminuir la intensidad de la corriente trasmitida.

Se debe á Faraday el descubrimiento de otra especie de influencia que ejerce el calor sobre la conductibilidad de los cuerpos, y es la de convertir en buenos conductores, haciéndolos pasar al estado líquido, una multitud de cuerpos que en el estado sólido no pueden trasmitir una corriente, ó la trasmiten imperfectamente.

Entre las principales sustancias que ha encontrado susceptibles de hacerse aneléctricas cuando se liquidan, siendo aisladoras en el estado sólido, se encuentran el hielo, el vidrio, la potasa y otros varios óxidos y compuestos metálicos; por el contrario, el azufre, el fósforo y varios compuestos metálicos tambien, experimentan la fusion sin que se desarrolle en ellos el poder conductor. Una circunstancia notable de esta propiedad, es que no basta el reblandecimiento del cuerpo, sino que es preciso que haya licuacion, como si el efecto proviniese no tanto de la temperatura como de la circunstancia de hallarse el cuerpo en el estado líquido. De La-Rive, que cree que un cuerpo compuesto no puede conducir la electricidad á la manera de los cuerpos simples, sin experimentar descomposicion, dice que es probable que este fenómeno se deba á que la descomposicion de los conductores no puede verificarse sin que se liquiden antes. Para apoyar esta opinion, cita un ejemplo muy notable; el agua, que es por sí poco conductora, hace aneléctricos, no solo los cuerpos sólidos que disuelve, sino algunos líquidos aisladores, como el bromo, el iodo fundido y el cloro líquido.

Podemos resumir todo lo que hemos dicho acerca de la conductibilidad de los cuerpos de la manera siguiente :

1.° Los metales y el carbon tienen una conductibilidad propia, que varia con su naturaleza y su estado molecular.

2.° La elevacion de temperatura disminuye en los metales el poder conductor, en una proporcion que varia en cada uno de ellos, con su naturaleza y su estado molecular.

3.° Algunos cuerpos sólidos que son aisladores á la temperatura ordinaria, se hacen buenos conductores cuando se calientan; pero la mayor parte no adquieren dicha propiedad sino cuando pasan al estado líquido.

4.° En las disoluciones acuosas, el poder conductor varia con el grado de concentracion, y excepto en algunos casos especiales, las mas concentradas son las mas conductoras; en general la conductibilidad aumenta con la elevacion de temperatura.

5.° Las diferencias que existen entre los cuerpos simples y los cuerpos compuestos en cuanto á la influencia del calor, parecen indicar que su conductibilidad ó su manera de propagar la electricidad no es completamente idéntica; lo cual depende probablemente de que en los cuerpos compuestos la trasmision de la corriente eléctrica va siempre acompañada de un cambio molecular, ó las mas veces, si no siempre, de una descomposicion química.

6.° El estudio de la conductibilidad eléctrica de los cuerpos compuestos no puede hacerse sino estudiando las descomposiciones electro-químicas, ramo demasiado extenso y ajeno á nuestro propósito, para que nos detengamos á dar de él una reseña tan completa como de los que llevamos tratados hasta aquí. (Véase para eso el tomo II de De La-Rive.)

Propagacion de la electricidad en los conductores imperfectos.

Empezarémos este párrafo repitiendo lo que tantas veces hemos dicho ya acerca de los cuerpos conductores y aisladores; que no pueden establecerse dos categorías marcadas, porque la conductibilidad no es absoluta. Hemos hablado ya de los cuerpos que son bastante buenos conductores para trasmitir la electricidad voltáica de una manera continua y rápida, que se manifiesta por los efectos dinámicos de la corriente. Vamos ahora á estudiar la propagacion de la electricidad en cuerpos que se consideran como aisladores, ó que al menos conducen la electricidad demasiado imperfectamente para

poder trasmitir una corriente propiamente dicha, como no sea en circunstancias especiales.

Priestley habia observado que el hielo, el vidrio cuando está caliente ó machacado, la llama de una vela, etc., pueden trasmitir una descarga eléctrica. Coulomb, en sus admirables trabajos sobre la pérdida lenta de la electricidad, se habia asegurado de que los cilindros de sustancias, al parecer aisladoras, como el vidrio, el lacre, y aun la goma laca, trasmitian con dificultad, pero de una manera sensible, la electricidad acumulada sobre el conductor de una máquina eléctrica, con la cual se les ponia en contacto por uno de sus extremos. Es verdad que Coulomb encontró que cuando la intensidad de la electricidad no es muy fuerte, un hilo de goma laca de un milímetro de diámetro y de cincuenta de longitud basta para aislar completamente una bola de médula de saúco, de 12 á 15 milímetros de diámetro; pero esta propiedad no es absoluta, pues el mismo Coulomb observó que el grado de reaccion eléctrica á que pueden empezar á aislar los soportes cilíndricos muy delgados, es para un mismo estado de la atmósfera, proporcional á la raíz cuadrada de su longitud. Para conocer el grado de permeabilidad de todas las sustancias que trasmiten imperfectamente el flúido eléctrico, observó Coulomb la intensidad que tenia la reaccion de este cuando empezaba el aislamiento, para hilos de la misma longitud y del mismo diámetro, pero de naturaleza diferente; y así fué como encontró que el valor de dicha reaccion es diez veces mas fuerte para un hilo de goma que para un hilo de seda.

De la misma manera que en los sólidos, hay entre los líquidos algunos, que aunque considerados como aisladores, no son en realidad sino conductores imperfectos; así sucede por ejemplo con los aceites, que presentan diferencias muy notables, y entre los cuales el de oliva posee una conductibilidad muy inferior á la de los demás aceites vegetales, y basta mezclarle una centésima parte de otro cual-

quiera para aumentar considerablemente su poder conductor.

Antes de pasar adelante recordarémos lo que ya hemos dicho sobre la manera de propagarse la electricidad, segun las teorías y los experimentos de Faraday. Su idea fundamental es, que la propagacion de la electricidad se hace en los cuerpos mas ó menos aisladores, por la polarizacion de las moléculas sucesivas, y que cada cuerpo posee un poder específico que le es propio. Esta teoría ha sido confirmada por Matteucci con el notable experimento de las hojas de mica superpuestas, que se encuentran polarizadas, es decir, con una electricidad diferente en cada una de sus caras, cuando se interponen entre dos armaduras fuertemente cargadas de electricidades contrarias.

Por este y otros experimentos directos, es fácil probar la propagacion de la electricidad en un cuerpo aislador; pero los numerosos resultados obtenidos principalmente por Matteucci no conducen á leyes muy sencillas, si bien las conclusiones no dejan de ser curiosas.

Poniendo en contacto una lámina aisladora con la bola electrizada de la balanza de Coulomb, resulta que la cantidad de electricidad adquirida por la lámina es proporcional, y tanto mayor cuanto mas fuerte es la carga eléctrica; es igualmente mas considerable cuanto mas delgada y menos extensa es la lámina aisladora; lo cual depende de que el efecto se concentra sobre menor número de puntos, y es por lo tanto proporcionalmente mas fuerte.

De La-Rive cree poder concluir de los experimentos de Matteucci que la electricidad se propaga en los cuerpos aisladores como en los conductores, y que el poder aislador no consiste sino en la resistencia mas ó menos grande al establecimiento y á la destruccion sucesiva de los estados eléctricos moleculares.

Un hecho bastante notable es que la electricidad negativa se propaga con mas facilidad que la positiva, ya sea sobre la superficie, ya en el interior de los cuerpos aisladores; y á

esta propiedad diferente de las dos electricidades, atribuye De La-Rive el fenómeno de las figuras de Lichtemberg. Para hacer ver dicho fenómeno se trazan algunas líneas ó figuras sobre una torta de resina con el boton de una botella de Leyden, cuya armadura se tiene con la mano; despues se trazan con la armadura exterior, teniendo la botella por el boton, otras figuras distintas, y se espolvorea la torta con azufre y minio molido, todo revuelto. Las partículas de azufre se dirigen á las líneas positivas, todas las de minio á las negativas, y permanecen adherentes aunque se sople y se sacuda la torta. Hay que advertir además que el azufre forma al rededor de los puntos electrizados positivamente unas especies de penachos, mientras que en las líneas negativas el minio no se adhiere sino en manchas circulares. Este fenómeno se ha explicado hasta ahora suponiendo que en la trituracion las moléculas de azufre han tomado la electricidad negativa, y las de minio la electricidad positiva; la explicacion de De La-Rive debe referirse solo á la diferente manera como se agrupan el azufre y el minio al rededor de las líneas electrizadas.

Las diferencias de temperatura, por ligeras que sean, hacen variar considerablemente el poder aislador de los cuerpos, pero la variacion no sigue las mismas progresiones en las diferentes sustancias; así es que con cargas eléctricas bastante fuertes, el azufre es hasta los 20° del termómetro menos aislador que la goma laca, y sucede la inversa cuando pasa de dicha temperatura.

No debe confundirse esta influencia del calor, con la que consiste en hacer desaparecer de la superficie de ciertos cuerpos, como el vidrio y la mica, una capa delgada de humedad, que los hace algo conductores. En este caso la elevacion de temperatura aumenta el poder aislador, pero un caldeamiento mas fuerte lo disminuye; el vidrio, la resina y la cera se convierten en buenos conductores á una temperatura suficiente para ablandarlos, y mas aun si llegan á liquidarse.

M. de Senarmont y Wiedmann han hecho experimentos muy interesantes sobre las propiedades conductoras de los cristales; pero no nos detendrémos á examinarlos, porque seria demasiado prolijo, y corresponde mas bien este estudio á la mineralogía.

M. Ermann habia creido encontrar en una clase particular de conductores imperfectos, que habia llamado *unipolares*, la propiedad de trasmitir mas fácilmente una de las electricidades que la otra. Introducia en un pedazo de jabon bien seco, dos alambres de metal, que comunicaban con los dos polos de una pila voltáica; los dos polos conservaban su tension, pero si se tocaba el jabon con un cuerpo conductor, el polo negativo se descargaba, mientras que el positivo adquiria el máximo de tension que posee, cuando estando aislada la pila, se hace comunicar el polo negativo con el suelo. Ermann habia encontrado la misma propiedad en la clara de huevo seca y en la llama del fósforo; tambien en las llamas del hidrógeno, del alcohol y de los cuerpos hidro-carbonados en general, pero con la diferencia de que es el polo positivo el que se descarga con las llamas, y el polo negativo adquiere mayor tension: llamó en consecuencia á los primeros, *cuerpos unipolares negativos*, y á los segundos, *unipolares positivos*.

Ohm ha demostrado despues que la causa del fenómeno observado por Ermann no consiste en una propiedad de la sustancia interpuesta entre los polos de la pila, sino del efecto que produce en ella la corriente que la atraviesa cuando se cierra el circúito. (Véase el tomo II de De La-Rive.)

Los conductores imperfectos pueden trasmitir la electricidad, no solo de una manera lenta y gradual, sino tambien brusca é instantáneamente. La trasmision de esta especie produce siempre la ruptura del equilibrio molecular de los cuerpos, que se presenta bajo diferentes formas, y muchas veces va acompañada de efectos luminosos, caloríficos y químicos. En el capítulo primero hemos hablado ya de las descargas eléctricas, y creemos por consiguiente inútil detenernos mas

sobre este particular; solo añadirémos que además del gran desarrollo de calor y de luz que ocasiona siempre la descarga eléctrica, hay efectos mecánicos.

En resúmen, todos los fenómenos que presenta la propagacion de la electricidad en los conductores imperfectos, ya sea lenta, ya instantánea, prueban la relacion íntima que tiene la propagacion con el estado molecular; cuando la propagacion es lenta, todo lo que modifica el estado molecular influye sobre ella, como la cristalizacion, la licuacion ó la elevacion de temperatura; y si la propagacion es instantánea, el estado molecular es el que sufre la influencia de la descarga eléctrica.

Propagacion de la electricidad al través de los flúidos elásticos.

Dirémos algo tambien sobre esta cuestion, que es muy interesante para el establecimiento de los conductores en las aplicaciones de la electricidad.

Los gases, cuando están bien secos, y particularmente el aire atmosférico, pasan por ser cuerpos perfectamente aisladores; pero son susceptibles tambien de propagar la electricidad mas ó menos fácilmente, segun su naturaleza y las condiciones en que se encuentran.

Coulomb es el primero que ha tratado de apreciar la pérdida de la electricidad que experimenta un cuerpo bien aislado, por efecto del contacto del aire. Despues de eliminar la causa que hubiera producido una pérdida por los soportes aisladores, encontró que en un mismo dia y para un mismo estado del aire, *la pérdida de la electricidad en un tiempo muy corto es proporcional á su intensidad, y varia, segun una ley muy difícil de determinar, con el estado higrométrico.*

Faraday primero, y despues Matteucci, han hecho investigaciones sobre esta materia, y hé aquí los resultados obtenidos por los delicados experimentos del último, que se ha valido de balanzas de Coulomb modificadas.

1.° La pérdida de la electricidad por el contacto del aire no se aumenta con la agitacion de este flúido; es menor por el contrario, en el aire agitado que la que se verifica cuando está en reposo. Este resultado singular en la apariencia, se explica fácilmente si se tiene en cuenta el tiempo que necesitan las partículas para polarizarse, y trasmitir así la electricidad del cuerpo con el cual se halla en contacto.

2.° En la pérdida eléctrica que experimenta un cuerpo por el contacto del aire, influyen los demás que están en presencia de él, y varia con su estado eléctrico; la pérdida es menor cuando el cuerpo electrizado se halla en presencia de otro que posee una electricidad contraria á la suya, y es mayor cuando el cuerpo que está en presencia no se halla electrizado y comunica con el suelo.

3.° La pérdida de electricidad en los gases puros y lo mas exentos posible de vapores acuosos, es independiente de su intensidad, y por consiguiente constante; pero mayor cuanto menor es la distancia á que se ponen uno de otro el cuerpo electrizado y el no electrizado. La primera parte de esta ley difiere de la encontrada por Coulomb, que establecia que la pérdida en un tiempo dado era siempre proporcional á la cantidad total de electricidad; es verdad que Coulomb operaba en el aire mas ó menos húmedo.

4.° La pérdida es la misma en el aire, en el hidrógeno y en el gas ácido carbonico bien secos y tomados á la misma temperatura y á la misma presion.

5.° La pérdida de flúido eléctrico, que en los gases secos y puros es la misma en general para la electricidad positiva y para la negativa, se hace mas rápida para la negativa que para la positiva cuando las cargas eléctricas son muy fuertes.

6.° La pérdida de electricidad aumenta en el aire seco con la temperatura.

7.° En el aire seco disminuye con la disminucion de la densidad de este, de lo cual deduce Matteucci que en el vacío perfecto no habrá electricidad retenida sobre la superficie

de los cuerpos, como vimos en la botella de Leyden de armaduras móviles. Esta ley parece en efecto probar que la electricidad corre ó pasa por las partículas mismas del aire.

8.° La pérdida de la electricidad en el aire tomado á una temperatura y á una presion constante, aumenta con la cantidad de vapor de agua contenida en él; pero no segun una ley sencilla, como habia creido Coulomb. Solo cuando el aire tiene una gran cantidad de vapor de agua se verifica que la pérdida es aproximadamente proporcional á la tension ó á la cantidad de vapor de agua, cualquiera que sea la temperatura. Lo que sí es muy notable, es que la presencia en el aire seco de otros vapores, como los del alcanfor, los de algunos aceites esenciales y aun los del éter-sulfúrico, no ejercen ninguna influencia sobre la pérdida de la electricidad.

Hemos considerado hasta aquí las leyes de la propagacion lenta, ó sea pérdida de la electricidad en los gases, y hemos visto que la densidad de estos, ó sea el número de sus partículas, es una circunstancia favorable á la propagacion, y la naturaleza del gas no tiene, ó tiene muy poca influencia. Pero la propagacion puede verificarse rápidamente, ya por descargas, ya de una manera continua en forma de corriente; en ese caso, la densidad del gas es, por el contrario, una circunstancia desfavorable, y su naturaleza tiene una influencia muy pronunciada. Hay además en la propagacion rápida, un movimiento, una agitacion del aire, que indica que es necesaria la separacion de sus partículas para la propagacion, como se ve patentemente en el molinete eléctrico. Lo mismo sucede cuando la propagacion rápida se hace en forma de corriente continua en vez de verificarlo por descargas, como lo han demostrado los experimentos de Colladon y de De La-Rive.

Becquerel ha obtenido sobre este particular resultados mucho mas completos y notables. Segun él, la propagacion de la corriente al través del gas no puede tener lugar antes de que este se haya puesto á la temperatura roja; pero desde dicho punto, la resistencia disminuye progresivamente á me-

dida que la temperatura se eleva, y esa disminucion es muy rápida cuando el tubo que contiene el gas se calienta al rojo blanco. Todos los gases presentan la misma propiedad; pero en grados diferentes.

Cuando para trasmitir la corriente al gas encerrado en un tubo se emplean este y un alambre como electrodos, se observa que cuando el tubo, es decir, el electrodo mas extenso es negativo y el alambre es positivo, la trasmision se hace mas fácilmente que en el caso contrario. Empleando como electrodos dos alambres de platino paralelos y aislados, no hay diferencia en la trasmision, que se verifica con igual facilidad, cualquiera que sea el sentido en que marche la corriente eléctrica. Empleando dichos alambres, colocados á 3 milímetros de distancia uno de otro, se ha observado que *la resistencia del aire calentado al rojo, es treinta mil veces mayor que la del agua que contiene* $\frac{5}{100,000}$ *de sulfato de cobre en disolucion*. Esta resistencia comprende la que es debida al paso de la electricidad de los electrodos al gas, independientemente de la que es debida al paso al través del gas mismo.

Un hecho digno de notarse es, que la temperatura á que empieza un gas á trasmitir la corriente voltáica, el rojo naciente, segun hemos dicho, es la misma, ya se encuentre el gas rarificado, ya á la presion ordinaria; pero una vez elevada la temperatura hasta ese punto, las diferencias se hacen sensibles con el cambio de presion.

El calor obra, como la rarefaccion, sobre todos los gases, disminuyendo su resistencia á la trasmision de la electricidad; pero esta diminucion no es igual para todos.

Del conjunto de observaciones que hemos presentado parece resultar, que el aire y los gases hacen un papel negativo en la propagacion rápida de la electricidad, y por el contrario, positivo cuando se trata de la propagacion lenta ó pérdida. En este último caso, las partículas de gas se polarizan por la accion del cuerpo electrizado que está en ellos, descarga dicho cuerpo, y se descargan sucesivamente unas á otras, de

la misma manera que sucedia con las partículas de los conductores imperfectos sólidos y líquidos. Cuando la propagacion es rápida, la tendencia de ambas electricidades á reunirse está contrariada por la presencia de las partículas aisladoras, ya sea el medio gaseoso, líquido ó sólido. La reunion, es decir, la descarga ó la corriente, no puede verificarse sino cuando las partículas se han separado, y de aquí la ruptura de los cuerpos sólidos, el movimiento y la agitacion de los líquidos y los gases.

Un hecho importante, que no podemos dejar de mencionar, es la diferencia que existe entre la electricidad positiva y la negativa en cuanto á su facilidad respectiva, para determinar la descarga en las mismas circunstancias. Faraday ha demostrado que cuando la descarga se verifica al través del aire entre dos bolas de tamaño desigual, la chispa es mucho mas larga cuando la bola menor es la positiva, y vice-versa. Tambien ha establecido una diferencia importante en la longitud de la chispa, segun la manera como reciben las bolas la electricidad, ya sea directamente del orígen, ya por induccion. Cuando la bola pequeña recibe la electricidad positiva directamente del orígen, es decir, cuando es *inductora*, la chispa es doble mas larga que cuando está electrizada positivamente por induccion, ó que es *inducida*. Aunque menos marcada, se observa la misma diferencia cuando la bola pequeña se electriza negativamente.

No terminarémos la enunciacion de los hechos que se refieren á la propagacion de la electricidad en los conductores perfectos ó imperfectos, sin tocar dos cuestiones importantes. La primera es la distincion forzosa que hay que hacer entre los dos modos de trasmision. El que se hace por el intermedio de los cuerpos de molécula á molécula, que llama Faraday *conduccion*, y acompaña siempre á la induccion molecular, es general á todos los cuerpos, inclusos los aisladores, que en vez de corriente producen solo la pérdida lenta. Este modo de trasmision, hémos dicho, puede producir efectos ca-

loríficos y químicos, y en el último caso constituye la *electrolicia*, que segun De La-Rive, no es mas que un caso particular, aunque Faraday lo considera como un modo distinto de trasmision.

El segundo modo es el que se verifica á distancia, resultado de la tendencia de las dos electricidades á unirse en virtud de su atraccion mútua. ¿Cómo se verifica esta reunion á distancia? ¿Es simplemente al través del éter, ó tiene lugar por las partículas muy finas que se destacan de los electrodos cargados de electricidades contrarias y trasportadas de uno á otro? Faraday admite los dos modos; llama al primero descarga *disruptiva*, y al segundo descarga por *convexion* ó *trasportante*, que difiere de la *conduccion* en que en esta las partículas materiales no tienen movimiento sensible.

El último de los hechos que citarémos, y que tiene relacion con la propagacion de la electricidad al través de los conductores, es el de las figuras de Moser, quien descubrió en 1842 que si dos cuerpos se ponen en contacto ó se aproximan mucho, imprimen su imágen el uno sobre el otro; experimento que da el mismo resultado cuando se hace de noche, en una oscuridad completa ó bajo la influencia de la luz. Moser habia atribuido el fenómeno á una accion particular de los rayos oscuros mas refrangibles, partiendo del principio de que todos los cuerpos radian la luz, aun en la mas completa oscuridad; pero Karsten consiguió poco tiempo despues producir figuras semejantes en circunstancias análogas, sirviéndose de la electricidad; para ello la hacia llegar en forma de chispas eléctricas, que se descargaban entre una moneda y una plancha metálica, separadas por otra de vidrio. Al cabo de cien vueltas del disco de la máquina eléctrica, se quitaba la moneda, y echando el aliento sobre la plancha de vidrio, se veia aparecer la impresion completa de la moneda con sus menores detalles.

El conjunto de leyes y hechos que hemos presentado acer-

ca de la propagacion de la electricidad en los cuerpos conductores y aisladores, se debe en su mayor parte á la extraordinaria actividad con que se han dedicado los físicos en estos últimos años á la resolucion de todos los problemas que tienen relacion con la telegrafía eléctrica. Aun despues de conocidas algunas leyes y de observados algunos hechos, habia que tomar en cuenta muchas consideraciones para hacer la aplicacion en grande escala. Estos problemas pueden resumirse en cuatro: 1.° calcular el poder eléctrico que es necesario para vencer la resistencia de los conductores; 2.° determinar el medio mas económico de aumentar la fuerza electro-motriz; 3.° fijar el modo mas ventajoso de hacer las derivaciones tan necesarias en el servicio de los telégrafos eléctricos; y 4.° establecer de la manera menos costosa los conductores de las grandes líneas.

Gracias á los grandes trabajos de Wheatstone sobre la determinacion de las leyes de la propagacion de la electricidad en los circúitos voltáicos; trabajo en que ha comprendido y rectificado todos los que habian hecho Ohm, Fechner y Pouillet, y que ha hecho original por la multitud de observaciones y descubrimientos propios con que lo ha enriquecido; gracias á ese trabajo, decimos, cuyas principales conclusiones hemos hecho conocer en este capítulo, los dos primeros problemas pueden considerarse completamente resueltos, y hoy dia, por medio de las fórmulas que ha obtenido, puede determinarse la fuerza eléctrica que necesita una línea telegráfica, como se calcula el número de caballos de que debe ser una máquina de vapor para un efecto dado.

Uno de los hechos que resultan de la teoría de Wheatstone que mas sorprenden, á pesar de lo que dijimos en el capítulo II al tratar de las pilas; que pareceria imposible sin las consideraciones en que ha entrado el sábio físico, y sin la multitud de experimentos con que lo ha demostrado, es que para vencer la resistencia que presentan los conductores en un circúito voltáico, el tamaño de los elementos de la pila es insig-

nificante; toda la fuerza depende de su número; no hay que perder de vista, sin embargo, que la mayor ó menor extension de los elementos influye en la dimension que se puede dar á un electro-iman introducido en el circúito, y por consiguiente en la fuerza mecánica que se puede desarrollar; es decir, que para vencer la resistencia del conductor no necesitamos sino tension, y cantidad para los efectos que hayan de obtenerse. Por esa razon, con gran sorpresa de los que no conocen las leyes de Wheatstone, ha podido M. Read hacer funcionar el telégrafo submarino de Douvres á Calais con una pila cuyos elementos no eran mas que de $^3/_4$ de pulgada.

En cuanto al tercero de los problemas, ya hemos dicho que se han deducido fórmulas por medio de las cuales se determina exactamente la manera como se han de establecer las derivaciones, segun la fuerza electro-motriz disponible y los efectos que se quieren obtener, ya en el circúito principal, ya en los derivados; puede considerarse pues este problema tan completamente resuelto como los anteriores. El cuarto es mucho mas complexo, y todavía no están completamente de acuerdo los hombres del arte en los diferentes sistemas que se han propuesto y adoptado en cada país. Los alambres que se emplean generalmente como conductores en Inglaterra, en Francia y en Alemania para las líneas telegráficas, son de hierro, de cuatro milímetros de diámetro y cubiertos con una capa de zinc, pero no existe la misma uniformidad en cuanto á su colocacion y á la manera de aislarlos. En la mayor parte de las líneas telegráficas se fijan los conductores sobre aisladores de formas y sustancias muy variadas, en postes mas ó menos elevados, y siguiendo las vias de comunicacion; en otras, aunque son las menos, se han enterrado cubriendo los alambres con resina, gutta-percha ú otras sustancias aisladoras, pero como hemos dicho, la cuestion está muy léjos de hallarse resuelta; porque además de las consideraciones científicas, hay que tener en cuenta otras muchas, como la de proteger los conductores contra la mala in-

tencion de las gentes, hacer fácil la reparacion, etc., etc.

Un paso importante se ha dado hace una docena de años en la economía y en la regularidad de la trasmision eléctrica en las líneas telegráficas, haciendo entrar á la tierra en el circúito y suprimiendo de esa manera la mitad del conductor metálico. La teoría de la accion de la tierra cuando forma parte de un circúito eléctrico, es una de las cuestiones mas interesantes que se han suscitado en estos últimos tiempos. En la imposibilidad de extendernos demasiado sobre este punto, recomendamos á nuestros lectores que vean el capítulo que le dedica Moigno en su *Tratado de telegrafía eléctrica;* pero como no podemos dispensarnos de hacer conocer, aunque ligeramente, la historia de esta cuestion, trascribirémos modificándolo, el breve resúmen que hace Du Moncel en sus aplicaciones de la electricidad.

Las primeras investigaciones sobre la conductibilidad de la tierra datan del año 1747, época en que el Dr. Watson, que habia reconocido el poder conductor de los líquidos en algunos experimentos hechos en el Támesis, imaginó hacer entrar á la tierra en un circúito recorrido por una descarga eléctrica, y se convenció de que la trasmision era tan instantánea como en un circúito enteramente metálico. Emprendió una série de experimentos, coronados todos con el mejor éxito, en los cuales empleó sucesivamente alambres de 45, de 1,609 y de 3,218 metros delongitud. Franklin, De Luc, Lemonier y el abate Nollet repitieron dichos experimentos de una manera mas ó menos variada, segun vimos en el capítulo primero, pero no puede decirse que hicieron adelantos en la senda marcada por Watson.

Despues del descubrimiento de la pila de Volta, varios sábios, entre otros Ermann, Basse y Aldini, trataron de repetir en 1803 los experimentos de Watson, empleando las corrientes voltáicas, y reconocieron que el fenómeno de la propagacion de la corriente se verificaba de la misma manera que con la electricidad estática, pero bajo ciertas condiciones. Feschner pre-

tendió que se podia utilizar esta propiedad de trasmision de la tierra en la telegrafía eléctrica, pero no tuvo resultados, porque en aquella época la cuestion de la aplicacion de la electricidad á la telegrafía estaba muy léjos de hallarse resuelta. No deja de ser notable, sin embargo, que descubierta esta propiedad, demostrada por infinitos experimentos, y aun emitida la idea de aplicacion por Feschner, no hubiera uno solo de los que trabajaban en la realizacion del gran problema de la telegrafía eléctrica, que tratase de aplicarla á su sistema.

Steinheil, físico aleman, fué el que en 1838 tuvo la idea de sacar partido de ella para un telégrafo eléctrico que habia imaginado. Hizo sus experimentos en Munich en un circúito de siete cuartos de legua, y se aseguró de que efectivamente la tierra podia trasmitir la corriente eléctrica, si el alambre conductor, que llamaba *de ida*, terminaba por el extremo libre en una chapa metálica enterrada, y se ponia del mismo modo en comunicacion con la tierra el otro polo de la pila. Otros experimentos le probaron despues que la facultad de trasmision de la tierra era tanto mayor, cuanta mas superficie presentaban las chapas y mas húmedo estaba el terreno.

El descubrimiento de Steinheil era de una importancia inmensa, porque economizaba en todas las líneas telegráficas el alambre *de vuelta*, y reducia por consiguiente á una mitad los gastos de instalacion; así es que todos los físicos se dedicaron á estudiar las consecuencias que podian resultar de esta nueva cuestion.

Wheatstone y Cooke hicieron, en 1841, ensayos que tuvieron por resultado establecer, que obrando la tierra como un gran receptáculo de electricidad, ó hasta cierto punto como un excelente conductor, la resistencia á la trasmision del flúido eléctrico se disminuye considerablemente; es menor que si el circúito se compusiera solo de alambre metálico, y se puede llegar á una distancia mayor con un alambre de menor diámetro.

Mr. Bain en Inglaterra, Matteucci en Italia y Breguet en

Francia, hicieron nuevos y curiosos experimentos, y aunque el segundo fué demasiado léjos en sus conclusiones al decir que la resistencia del circúito mixto en que entraba la tierra era menor que la que hubiera experimentado con el trozo de alambre metálico solo, produjo el beneficio inmenso de provocar los grandes experimentos hechos por Magrini en el camino de hierro de Milan á Monza, que confirmaron completamente la idea que habian concebido algunos sábios, de que haciendo intervenir la tierra como intermedio húmedo en un par voltáico, cuyos elementos estuvieran muy separados uno de otro, se podrian obtener corrientes *electro-telúricas* al través de un circúito que no estuviera en comunicacion con ninguna pila. Al profesor Kemp, de Edimburgo, se deben los primeros trabajos sobre este particular en 1828. Mr. Fox de Falmouth y Reich de Freyberg repitieron poco despues los experimentos de Kemp, sustituyendo la tierra al agua del mar que habia interpuesto este; obtuvieron los mismos efectos, y pudieron sentar que la tierra en ese caso hacia el efecto de la arena humedecida en una pila de arena ordinaria, compuesta de un solo elemento.

Magrini en los experimentos que hemos citado, no solo confirmó ese hecho, sino que descubrió otro mas curioso aun: que una sola chapa enterrada bastaba para producir una corriente en un alambre libremente suspendido en el aire, y por consiguiente que las láminas de metales diferentes no eran indispensables sino cuando se empleaban simultáneamente, porque entonces las corrientes producidas separadamente por cada una de ellas, se dirigian en sentido contrario, y en vez de neutralizarse en el conductor, se agregaban la una á la otra. Notó además que el orígen de estas corrientes obraba en cierto modo como un generador calorífico, porque su intensidad decrecia desde la chapa enterrada hasta cierto límite, despues del cual la diferencia no podia ser apreciada, pero que podia alejarse alargando el alambre ó reuniendo varios.

Una propiedad extraordinaria de esta especie de corrientes, á las cuales como hemos dicho, ha llamado Magrini *corrientes telúricas*, es que su direccion es inversa de la que deberia ser, si el zinc y el cobre que forman los extremos del alambre constituyesen un par voltáico, de donde resulta que nuestro planeta seria un electro-motor mas negativo que todos los metales, excepto el zinc, pues la corriente pasa de la tierra á los otros metales, y del zinc á la tierra.

Sea el que quiera el orígen de estas corrientes, que Magrini considera como procedentes de una pila de Bagration constituida por el globo terrestre, no es menos cierto que la interposicion de la tierra en un circúito es tanto mas ventajosa, cuanto mas largo es este; porque como observó Matteucci en 1844, siendo la resistencia de la tierra un guarismo constante, es igual para una pequeña como para una gran distancia, y las corrientes telúricas que vienen á agregarse á la accion de la pila disminuyen aun esta resistencia. Varios físicos, y entre ellos Matteucci mismo, llegan á pretender que esta resistencia es tan débil que puede despreciarse, y que por consiguiente la intensidad de la corriente en un circúito mixto, es decir, en un circúito en que entre en la tierra, es doble de lo que seria en un circúito metálico completo.

El cómo obra la tierra en esta trasmision de la electricidad, es una cuestion que tiene dividida la opinion de los sábios, si bien nosotros no vacilamos en adoptar la del abate Moigno, que condena las que han emitido Pouillet, Matteucci y otros, bajo la suposicion de que la tierra obra como un simple conductor, cuya mala conductibilidad se compensa por la inmensidad de la seccion ; ya suponiendo que la molécula de electricidad positiva, despues de haberse desprendido del polo de la pila y atravesado el alambre, vuelve á buscar el otro polo de la misma pila, recorriendo los rios, los mares y todas las porciones de la tierra, cuya conductibilidad es suficiente para darle paso; ya la idea no menos absurda de que basta introducir en la tierra las extremidades de un circúito voltái-

co para que la masa de flúido neutro que contiene se descomponga de manera que se pueda poner en evidencia entre dos puntos cualesquiera la electricidad que ha quedado libre. No es necesario detenerse á combatir estas teorías, y seria difícil hacerlo de la manera tan concluyente, si bien algun tanto mordaz, con que lo hace Moigno en su citada obra; solo expondrémos en dos palabras su teoría, que consiste en suponer la tierra como un vasto receptáculo ó depósito en que las electricidades positiva y negativa van á perderse ó son absorbidas. Esta teoría, la mas racional de cuantas se han presentado, además de ser la que profesan los hombres mas eminentes de Alemania y de haber sido demostrada por los experimentos de Wheatstone, que citarémos muy pronto, tiene la singular circunstancia de prestarse tan bien á la teoría de los dos flúidos eléctricos, como á la de uno solo emitida por Franklin. Algunos sábios, y entre ellos el ilustre Gauss, admiten que si las dos extremidades del conductor único, en vez de enterrarse en la tierra, terminaran en dos globos como el nuestro, aislados en el espacio, la corriente existiria de la misma manera con su doble intensidad. Lo que hay de positivo es que la trasmision de la electricidad puede hacerse al través de todos los terrenos, en los países montañosos, como en los mas llanos, aunque siempre es ventajoso, cuando se puede, colocar las chapas con que terminan los alambres en pozos llenos de agua.

Este es el lugar de dar á conocer, ó mejor dicho de indicar los notables experimentos de Faraday, Wheatstone y Palaggi sobre la propagacion de la electricidad; experimentos cuya importancia exigiria un capítulo especial si hubieran de referirse y comentarse con el detenimiento que merecen; pero no nos es posible hacer mas que señalar su objeto y sus resultados, si no queremos separarnos de nuestro objeto.

Los experimentos de Faraday, que citarémos antes, porque han sido anteriores á los de Wheatstone y á los de Palaggi,

prueban la grande influencia que ejercen en la trasmision eléctrica las corrientes de induccion que se desarrollan en el conductor mismo ó en los cuerpos que·lo rodean. Fueron hechos con alambres envueltos en gutta-percha de mas de 160 kilómetros de longitud, y dispuestos de manera que podian sumergirse en agua, total ó parcialmente; la corriente era producida por una pila aislada de trescientos sesenta elementos, de cuatro pulgadas de altura por tres de ancho.

Inútil es decir que cerrado el circúito eléctrico, se producian, á pesar de su longitud, todos los fenómenos físicos y electro-dinámicos que conocemos, inflamando petardos y desviando la aguja del galvanómetro, porque esto nada tendria de nuevo; lo que halló de notable Faraday fué, que despues de abierto el circúito, los alambres quedaban cargados de cierta cantidad de electricidad capaz de producir conmociones, de inflamar las sustancias explosibles y desviar la aguja imantada, cuando el conductor estaba sumergido en el agua, pero no cuando estaba suspendido al aire libre, á pesar de que en el primer caso se hallaba tan bien aislado como en el segundo.

Otra série de experimentos hizo con alambres metidos en tubos de plomo y enterrados, que formaban un circúito de mas de 2,000 kilómetros, pero que iban y venian varias veces de Lóndres á Manchester, de modo que permitian interponer á la vista del observador varios galvanómetros á diferentes distancias de los polos. En ellos observó que la propagacion eléctrica, que es casi instantánea en los alambres suspendidos al aire libre, en aquel caso se halla por decirlo así detenida, y tarda un tiempo apreciable en llegar de un galvanómetro á otro; de modo que en el mismo conductor era posible observar dos y tres ondas eléctricas que se propagaban simultáneamente, y aun retrocedian para terminar en el mismo punto si se separaba el polo del alambre del galvanómetro para ponerlo en contacto con la tierra.

Dos consecuencias importantísimas se deducen de estos

experimentos, y son: 1.ª que en un alambre aislado, rodeado por un cuerpo conductor cualquiera, se desarrollan corrientes que se mantienen activas algun tiempo despues de haber interrumpido la corriente voltáica ó inductora; 2.ª que el efecto de estas corrientes es el de retardar la velocidad de la trasmision eléctrica.

Du Moncel llama estáticas estas corrientes, y las explica fácilmente, comparando su efecto al que se produce en la botella de Leyden, y en efecto pudiera considerarse el alambre como la armadura interior de un gran condensador; el líquido en que se halla sumergido, como la armadura exterior, y la gutta-percha que aisla el alambre, como el vidrio de la botella; pero creemos que este fenómeno debe estudiarse mas aun, y aplicarle la teoría que hemos dado en el capítulo anterior acerca de la induccion, es decir, reconocer en él los efectos de la electricidad por influencia; pero sin recurrir á las diferencias que quiere establecer Du Moncel entre la electricidad estática y la dinámica.

No es necesario hacer notar la importancia que tiene este problema en la telegrafía submarina; pero sí dirémos que M. Varley ha sabido evitar los inconvenientes que se oponian á la trasmision, invirtiendo las corrientes en vez de interrumpirlas; de la misma manera se piensa responder á las objeciones que habian presentado algunos físicos á la instalacion del cable que ha de unir el Norte de América con Europa.

Los numerosos experimentos de Wheatstone, cuya relacion por mas que quisiéramos compendiarla, no nos es posible insertar en este lugar, pueden verse, así como los de Faraday, en la segunda edicion de la obra de Du Moncel; nos contentarémos con estampar los siguientes resultados que da en ella:

1.º Que las electricidades que se desprenden de los polos de la pila van neutralizándose con las electricidades naturales de las moléculas que constituyen el conductor hasta que este se halla completamente cargado.

2.° Que las dos electricidades que se desprenden en los dos polos de la pila, no pueden ponerse en movimiento la una sin la otra, pues no puede cargarse un conductor con una de ellas sin que se cargue con la otra otro conductor, que presente la misma resistencia.

3.° Resulta de esta dependencia una descarga simultánea en los polos, aun cuando la descarga efectiva no se verifique sino en uno de ellos.

4.° Que el movimiento de los flúidos se verifica desde el centro del circúito hácia la pila cuando la corriente se cierra en dicho centro; porque en ese punto empiezan las recomposiciones eléctricas que producen la corriente.

5.° Que sucede lo contrario cuando el circúito se cierra en uno de los polos de la pila; porque no cargándose el conductor sino en el momento en que se cierra el circúito, las primeras recomposiciones que determina la corriente se verifican cerca de la pila.

6.° Que la tierra no hace solo de conductor en un circúito en que se introduce; porque el movimiento de los flúidos, en vez de tener lugar simultáneamente desde los polos de la pila hácia el centro de la corriente, cuando se cierra el circúito en uno de los polos, se opera sucesivamente desde el polo tocado al otro. La tierra no hace por consiguiente mas que absorber, ó como se admite para la electricidad estática, es un depósito comun.

7.° Que la necesidad de poner la pila en comunicacion con la tierra para cargar un conductor aislado, proviene de la imposibilidad de cargar este conductor con la electricidad desprendida del polo que comunica con él, sin que la electricidad correspondiente del otro quede absorbida en la misma proporcion.

8.° Que no se establece la comunicacion entre la tierra y un alambre que forma parte de un circúito, sino para absorber la electricidad á medida que se carga el conductor, y dar así lugar á una corriente.

9.° Que la imposibilidad material que existe de obtener un aislamiento completo es una causa determinante de absorcion continua, que crea en un circúito abierto una corriente permanente, que aumenta con su longitud.

10. Que en un circúito cerrado el movimiento de las dos electricidades debe hacerse en uno y otro polo, desde estos hácia el centro del circúito, de donde resulta que cada mitad de este debe hallarse cargada de una electricidad diferente. (Véase nuestra opinion en el capítulo v.)

No son menos importantes los experimentos de Palaggi, hechos en Toscana, en el camino de hierro de Florencia á San Donnino, y descritos en el periódico *La Science* del 15 de marzo de 1855.

Segun ellos, es posible emplear un telégrafo en que los conductores no estén aislados de la tierra, pues Palaggi y Bertelli se sirvieron de las líneas de barras-carriles exteriores de las dos vias, separadas por una distancia de 7 metros, y obtuvieron los resultados siguientes:

1.° La corriente puede recorrer un circúito metálico que comunica con la tierra; opinion que habian emitido ya el mismo Palaggi y Bertelli.

2.° La tension de la corriente á lo largo de un circúito que comunica con la tierra, disminuye con la longitud, pero en diferente proporcion que si los conductores estuvieran aislados.

3.° En una distancia bastante grande (6750 metros) la tension de la corriente permanece igual en los dos extremos del circúito, es decir, en el orígen de la corriente y en el extremo de los conductores metálicos.

4.° Que si el circúito se prolonga mas, la corriente cesa de tener la misma tension en los dos extremos.

5.ª Que en este caso la tension de la corriente aumenta junto á la pila, y la diferencia es tanto mas grande, cuanto mas largo es el circúito.

Si se aislaba uno de los polos, la corriente desaparecia

siempre; pero repitiendo los experimentos cuando la tierra se hallaba empapada por abundantes lluvias, la aguja del galvanómetro se desviaba en la extremidad del circúito, aunque solo algunos grados.

Queriendo asegurarse de este último hecho, hizo Palaggi nuevos experimentos para ver si con el circúito abierto se producian realmente desviaciones en la aguja estando la tierra húmeda, y observó que las hay en efecto; pero al revés de lo que sucede en los circúitos cerrados, porque la tension de la corriente eléctrica aumenta con la longitud de los conductores.

Resulta, sin embargo, que la diferencia en la desviacion es tan grande en un circúito abierto y en otro cerrado, que hasta cierto límite puede esperarse que no sea imposible la aplicacion de esta clase de conductores á sistemas eléctricos de seguridad para los caminos de hierro. Seria muy importante emprender trabajos de esta naturaleza.

Varios experimentos recientes hechos por M. Van Rees, y repetidos en Portsmouth, han hecho creer que estaba resuelto el problema de la trasmision de las corrientes sin intervencion de los alambres conductores. Al través de un rio bastante ancho se ha podido hacer funcionar un telégrafo eléctrico sin interponer ningun alambre entre los aparatos. Para esto se establecia en una de las orillas, entre el polo positivo de la pila (figura 162) y el rio una comunicacion metálica por medio de una chapa de cobre *A*; el otro polo de la pila estaba en relacion con un interruptor de la corriente *Y*, que comunicaba á su vez con el rio por medio de otra chapa de cobre *B*. En la orilla opuesta se encontraba el aparato telegráfico *T*, cuyo órgano eléctrico estaba en comunicacion con

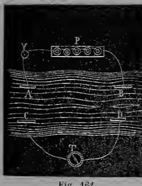


Fig. 162.

el rio por medio de dos chapas de cobre *C* y *D*, muy separadas una de otra. En el momento en que se hacia funcionar el interruptor, el aparato telegráfico marcaba las señales correspondientes.

La explicacion de esta trasmision eléctrica es muy fácil, porque resulta de una simple derivacion de la corriente. En efecto, la corriente trasmitida al rio por las chapas *A* y *B* se completa de *A* á *B* por el conductor líquido; pero encontrando por las chapas *C* y *D* otra salida *C D T*, se deriva y obra sobre el aparato *T*. Como esta corriente pasa, sin embargo, por un circúito mas largo que el que va de *A* á *B*, es muy débil, y queda completamente anulada en una distancia algo larga; razon por la cual este descubrimiento, muy curioso en sí mismo, no ha tenido aplicacion en la telegrafía.

No terminarémos este capítulo sin dar alguna idea de los trabajos que se han hecho para determinar la

Velocidad de la electricidad.

En el capítulo primero dimos á conocer los experimentos de Grey, que con Otto de Guericke y Whoeler, fueron los primeros que observaron que la electricidad se propagaba con una gran velocidad; pero en ninguno de sus trabajos pudieron apreciar ni remotamente cuál podia ser esta. Watson, que emprendió con ese objeto una série de experimentos á mediados del siglo pasado, no consiguió mas que confirmar el hecho que ya se conocia.

El célebre Arago, en su interesante artículo sobre el rayo, publicado en 1828, decia que por medio de un aparato muy sencillo podia demostrarse que los relámpagos mas brillantes y mas largos, aun aquellos que parecen envolver con su fuego toda la extension del horizonte visible, no tienen una duracion igual á la *milésima parte de un segundo*. Aunque este resultado haya podido dar una idea de la prodigiosa velocidad de trasmision de la electricidad, no satisfacia á los sábios, porque el límite mínimum de esta velocidad no habia podido

justificarse. Varios se aplicaron á perfeccionar los instrumentos con que se habian de hacer experimentos; pero no fué sino en 1834 cuando Wheatstone por medio de un aparato muy ingenioso, de su invencion, resolvió en parte el problema, demostrando:

1.° Que la velocidad de la electricidad en un alambre de cobre es, cuando menos, tan grande como la de la luz en el espacio planetario.

2.° Que en un alambre que comunica por sus extremos con las dos armaduras de una botella de Leyden, la ruptura del equilibrio eléctrico se propaga con igual velocidad á partir de los dos extremos del alambre, y no llega sino mas tarde al centro del circúito.

3.° Que la luz eléctrica en el estado de alta tension dura menos de $\frac{1}{1.000,000}$ de segundo.

4.° Que pueden percibirse distintamente los objetos durante este corto intervalo de tiempo.

Como Wheatstone no se habia valido directamente de la corriente eléctrica, sino que sus investigaciones estaban fundadas en la electricidad de tension desprendida en un medio aeriforme, varios físicos, entre otros Fizeau y Gounelle, trataron de estudiar las leyes de propagacion del flúido eléctrico en los cuerpos sólidos metálicos, es decir, en los circúitos voltáicos. Hé aquí los resultados que han obtenido, operando en una longitud de 600 kilómetros.

1.° En un alambre de hierro de 4 milímetros de diámetro, la electricidad se propaga con una velocidad de 101,710 kilómetros, ó en números redondos 100,000 kilómetros por segundo.

2.° En un alambre de cobre de 2 $^1/_2$ milímetros, la velocidad es en números redondos 180,000 kilómetros por segundo.

3.° Las dos electricidades se propagan con la misma velocidad.

4.° El número y la naturaleza de los elementos de que está

formada la pila, y por consiguiente la tension de la electricidad y la intensidad de la corriente, no tienen influencia en la velocidad de propagacion.

5.° En los conductores de diferente naturaleza, la velocidad aumenta con el grado de conductibilidad de los metales, pero en una relacion que no es proporcional.

6.° La velocidad de propagacion no parece variar con la seccion de los conductores.

En la imposibilidad de dar una descripcion completa, y por consiguiente clara de los aparatos y medios con que los ilustres físicos han podido obtener los interesantes y curiosos resultados que acabamos de hacer conocer nos contentarémos, siguiendo en este punto á Du Moncel, con indicar el principio en que se ha fundado cada uno de ellos.

Un carbon encendido á que se hace dar vueltas rápidamente, y los rayos de una rueda que se mueve con rapidez, no pueden ser percibidos aisladamente en sus diferentes posiciones.

En el primer caso se ve una línea de fuego; en el segundo una superficie lisa en movimiento, y esto porque la impresion de la luz sobre la retina no es instantánea, y persiste algunos instantes, un décimo de segundo próximamente, despues de haber cesado la accion luminosa; pero si la causa que ilumina es instantánea, se concibe que se percibirá el objeto en movimiento en una sola de sus posiciones, y deberá hacerlo ver como si estuviera en reposo. Mientras mas rápido sea el movimiento, mas pronta deberá ser la aparicion luminosa para obtener dicho resultado. Ahora bien, haciendo dar vueltas en un sitio completamente oscuro á un disco de color blanco, sobre el cual se hayan pintado rayos negros, é iluminando este disco con la luz producida por un relámpago, se convenció Arago de que los rayos negros aparecian siempre tan distintos como si el disco hubiese estado en una posicion fija, cualquiera que fuera la velocidad de que estuviese animado. Calculando despues, por la velocidad máxima que se habia

comunicado al disco, la prontitud de la aparicion luminosa, encontró, como hemos dicho, que era mayor que un milésimo de segundo.

Como los medios mecánicos no podian bastar por sí solos, y por otra parte, el espacio recorrido por un relámpago hubiera sido siempre hipotético, Wheatstone empleó en 1834 y en 1836 un alambre de una longitud conocida, dispuesto de manera que excitase en una botella de Leyden tres chispas con la misma descarga, una en cada extremo y otra en el medio. Las bolas metálicas, entre las cuales saltaba la chispa, estaban colocadas en línea recta, y bastante próximas unas á otras para que las tres pudiesen reflejarse en un espejo y ser proyectadas en seguida sobre una pantalla dispuesta al efecto. El alambre del circúito era de unas dos millas de largo, cuidadosamente cubierto de seda y de goma laca, desarrollado en espaciosas cuevas, y sostenido de trecho en trecho por hilos de seda. En fin, el espejo sobre el cual se reflejaban las chispas era doble, y por medio de un mecanismo podia ponerse en movimiento y dar 800 vueltas por segundo.

Con esta disposicion, se comprende fácilmente que el espejo, al dar vueltas, podria recoger á la vez la imágen de las tres descargas, bajo diferentes inclinaciones, y debia por lo mismo alargar su proyeccion luminosa sobre la pantalla, en una proporcion tanto mas grande cuanto menos instantánea fuera su aparicion. Además de eso, la altura de estas proyecciones sobre la pantalla debia depender del instante preciso de la aparicion de las chispas; y en sus experimentos, Wheatstone se convenció de que no solamente las proyecciones de las chispas se presentaban alargadas, lo cual suponia una duracion apreciable en su aparicion, sino que la proyeccion de la chispa correspondiente á la descarga del medio del circúito no estaba en la misma línea recta que las proyecciones de las otras dos descargas; cuando el espejo daba vueltas á la derecha, las líneas luminosas aparecian en esta

diposicion , mientras que si giraba á la izquierda, aparecian en esta otra , y en ningun caso las vió Wheatstone bajo esta forma ó bajo esta otra , como se hubieran presentado, si al propagarse la electricidad, no hubiese trasporte mas que de un solo flúido.

Calculando el ángulo correspondiente á esta diferencia de alineacion en sus proyecciones, y refiriendo este ángulo á la duracion de una vuelta completa del espejo reflector, Wheatstone pudo deducir la fraccion de segundo empleada por la descarga en recorrer la mitad del circúito. Ahora bien, este ángulo, en las condiciones del experimento, no era sino de medio grado, de suerte que la duracion de la trasmision en el trascurso de una milla no habia sido sino la $\frac{1}{720}$ parte de $\frac{1}{800}$ de segundo.

Segun este cálculo, la velocidad de la electricidad seria de 576,000 millas inglesas ó 192,800 leguas en un segundo. Wheatstone, en los experimentos que emprendió, no se habia propuesto dar una cifra exacta de la velocidad de la electricidad, sino demostrar que es apreciable y fijar el máximum de ella, y es fácil de comprender, en efecto, que los aparatos que debió emplear en sus experimentos no eran bastante perfectos para que pudiera pensar en una apreciacion mas exacta.

El aparato de M. Fizeau era tambien muy sencillo, se componia principalmente de dos interruptores, es decir, de dos ruedas cuya circunferencia se componia de partes conductoras y no conductoras, y sobre las cuales venia á apoyar un resorte en relacion con la corriente. Estos dos interruptores estaban colocados en las dos extremidades de un alambre de línea telegráfica doble, y un galvanómetro muy sensible se hallaba interpuesto en el circúito.

Como los interruptores estaban en relacion con un sistema motor susceptible de darles á voluntad una velocidad tan grande como se pudiera desear, podian en un instante dado

interrumpir la corriente de una manera que hubiera sido concordante, si marchando con la misma velocidad, la trasmision eléctrica hubiera sido instantánea, pero que debia ser discordante en el caso contrario. En este último, interrumpiendo la corriente en Paris, por ejemplo, no debia serlo en Amiens en el mismo instante, y recíprocamente. Pero si en vez de tener velocidades iguales, los interruptores hubieran estado animados de una velocidad diferente, hubiera podido suceder que la diferencia de las velocidades compensase el retardo ocasionado por la trasmision del flúido, y que las dos interrupciones se hubiesen manifestado al mismo tiempo; circunstancia que podia ser acusada por el galvanómetro. En este caso, la diferencia de velocidad del aparato motor podia servir para determinar la velocidad de la electricidad.

Tal es el principio en que ha basado M. Fizeau sus experimentos; principio exacto, pero que exige una perfeccion en los instrumentos y en la manera de operar, que pocas personas pueden hallarse en el caso de conseguir; así es que el hábil físico no ha podido dar por concluyentes los magníficos resultados que hemos expuesto, sino despues de veinte y ocho experimentos. El Instituto de Francia, al concederle el gran premio triennal de 1856, ha hecho justicia al mérito incontestable del autor de los trabajos sobre la velocidad de la electricidad.

Con esto terminamos el capítulo de la propagacion de la electricidad, en que, á pesar de habernos detenido mas de lo que habiamos pensado, apenas hemos podido dar una ligera idea de las principales maravillas que presenta esta ciencia.

APLICACIONES

DE LA

ELECTRICIDAD.

CAPITULO VII.

APLICACIONES DE LA ELECTRICIDAD.

Muy pocas son las ciencias que cuentan un número tan considerable de aplicaciones como la electricidad. Conocida apenas hace medio siglo, no sospechadas siquiera hace treinta años las propiedades mas importantes en que se fundan las maravillas de la telegrafía, le es casi imposible hoy al hombre mas asíduo seguir los prodigiosos adelantos que se hacen, aun cuando su trabajo tenga por objeto no profundizar, sino solo inscribir en el gran catálago de las conquistas de la inteligencia, las que se deben á este ramo de la física, que ha cambiado ya la faz del mundo civilizado, y promete extender su benéfica influencia á todas las ciencias, á todas las industrias.

Dicho esto, se comprenderá que nos es imposible en este capítulo hacer mas que mencionar las principales aplicaciones que se conocen de la electricidad; narrarémos ligeramente en otro la historia de la telegrafía eléctrica, y dejarémos para la segunda parte de esta obra la descripcion de los sistemas que se han ideado para evitar los accidentes en los caminos de hierro por medio de la electricidad; trabajo que presentarémos de la manera mas completa que nos sea posible, como que es el objeto principal que nos hemos propuesto al tomar la pluma.

Ya hemos dicho en otra parte que aunque algunos de los fenómenos eléctricos se conocieron 600 años antes de J. C., su estudio habia adelantado tan poco en el siglo pasado, que

apenas se hacia mencion de ellos como de una curiosidad en los tratados de filosofía; así es que ni el gran Newton, ni Descartes, ni otros físicos eminentes creyeron que merecian la atencion que dieron á la óptica, á la acústica y á otros ramos de la física. Franklin fue el primero que reveló la importancia inmensa de su estudio, y al demostrar la analogía que habia sospechado entre el flúido eléctrico de las máquinas y el que ocasiona las tempestades; al establecer con sus experimentos la influencia de las puntas, prestó á la humanidad un servicio inmenso facilitando los medios de hacer inofensivo el rayo, cuya caprichosa y destructora marcha parecia una locura pretender regularizar. Él lo consiguió sin embargo, y haciéndolo, inauguró con una de las aplicaciones mas sorprendentes que pueden imaginarse, la era de las que la electricidad ha permitido poner en práctica y cuya importancia revelaba tan admirable preludio.

Ya en el capítulo primero (pág. 158) dimos una ligera idea del para-rayos, tal como lo propuso su inventor; excusamos pues repetirla aquí; solo dirémos que Gay Lussac en 1823 y Pouillet en 1854 han presentado á la Academia de Ciencias de Paris trabajos importantísimos sobre su forma, y manera de usarlo. Nadie sin embargo ha hecho tanto sobre el particular como Sir William Snow Harris, cuyos para-rayos aplicados á la marina han producido beneficios tales que le han merecido los mayores honores y una magnífica recompensa del almirantazgo inglés. En un trabajo especial que sobre esta materia estamos haciendo, darémos á conocer cuán generales y terribles son los efectos del rayo, y la necesidad de que se popularicen los medios de evitarlos.

Fundado en la teoría indicada por Volta sobre el granizo, que atribuye la formacion de este meteoro á la accion de dos nubes cargadas de electricidades contrarias, el aereonauta M. Dupuis-Delcourt ha pensado, que así como el para-rayos libra de los funestos efectos del flúido los objetos que se encuentran á una distancia doble que su altura, de la misma

manera elevando á 1,500 ó 2,000 metros un aparato que robe su electricidad á la atmósfera, se conseguirá librar de los efectos del granizo una superficie de terreno de 6,000 á 8,000 metros de diámetro; para conseguirlo propone un aparato en cuya descripcion no entrarémos, pero que se compone principalmente de un cilindro estrecho y largo, guarnecido de puntas metálicas y terminado por dos conos en sus bases. Este cilindro, lleno de hidrógeno, se mantiene en el aire á la altura indicada, y se sujeta á la tierra por una ó varias cuerdas semi-metálicas. M. Dupuis-Delcourt cree que con su *electro-substractor* podrá almacenarse en grandes cantidades la electricidad al extremo de las cuerdas metálicas, y servir de abono en la cultura, como parecen haberlo demostrado los experimentos de Maimburg, Jallabert, Boze y el abate Menon en Inglaterra, aunque hayan sido menos felices en Francia.

APLICACIONES QUÍMICAS DE LA ELECTRICIDAD.

Única, pero inmensa, la invencion del para-rayos llenó por sí sola la primera época de la historia de las aplicaciones de la electricidad. La segunda, que da principio con el descubrimiento de Volta, abunda ya mas en aplicaciones, y apenas creada la pila, vemos á la química apoderarse de ella, y tomar un nuevo aspecto con la descomposicion del agua, de la potasa, de la sosa y de una multitud de cuerpos que se habian creido irreductibles, segun lo hicimos ver en el capítulo II. De aquí han nacido todas las aplicaciones químicas de la electricidad, que cuenta entre las mas notables la *galvanoplástica*, ó sea el arte de depositar los metales en la superficie de los cuerpos por medio de las corrientes eléctricas, cuya invencion se debe antes que á nadie á Brugnatelli, discípulo de Volta, que en 1801 consiguió dorar la plata valiéndose de la pila, sin que el metal perdiera su brillo. Pero como cada invencion tiene su época, y hay países desgraciados, cuyos genios se anticipan demasiado á las necesidades y

á los gustos del momento, los brillantes resultados del ensayo de Brugnatelli quedaron sepultados en el polvo de las bibliotecas, y hoy al proclamar, con justicia sin duda, á Spencer y á Jacobi como verdaderos creadores de la galvano-plástica, se dice del primer inventor lo que de tantos otros que han sufrido la misma suerte : «*Su invencion, ignorada de los sábios de Europa y aun de sus mismos compatriotas, no tenia importancia ninguna en aquella época, y solo el interés que inspira actualmente esta materia ha podido hacer buscar en los archivos los rastros de su olvidada tentativa.*»

La galvano-plástica, reducida al principio á dorar y platear los metales, se presentó desde luego con ese sello humanitario que parece inseparable de todas las aplicaciones de la electricidad, y que tan felizmente inauguró en la primera el autor del *Buen-Ricardo*. La menor de las ventajas del dorado y plateado por medio de la electricidad es la de la economía, si se considera el beneficio inmenso que se ha hecho á la sociedad, arrebatando á la muerte y librando de una vida valetudinaria á la multitud de obreros expuestos continuamente á la venenosa influencia de los vapores mercuriales que se desprendian con el antiguo sistema de dorado.

Fundada la galvano-plástica en el poder que tienen las corrientes eléctricas de descomponer las disoluciones metálicas, precipitando el metal reducido sobre uno de los electrodos, basta terminar uno de los reóforos de una pila voltáica por el objeto que se quiere platear ó dorar, y el otro por una hoja del metal con que se quiere cubrir, para que introduciendo ambos electrodos en una disolucion del dicho metal, el circúito se cierre y la precipitacion se verifique mientras dure la accion de la pila, y quede metal en la disolucion; siendo de notar que la misma cantidad de metal que se precipita sobre el objeto en que termina un electrodo es la que se disuelve de la hoja que está unida al otro.

La capa de metal depositada puede hacerse del grueso que se quiera, con solo prolongar la accion y añadir metal á

la disolucion; de aquí la aplicacion que se ha hecho de este sistema para obtener medallas, vasos, platos cincelados, y últimamente por el procedimiento de M. Lenoir, estatuas vaciadas de esa manera en moldes de gutta-percha. Decimos el procedimiento de M. Lenoir, porque así se ha hecho conocer recientemente en la Academia de Ciencias de Paris, aunque segun parece, M. Zier habia ya presentado á Pouillet en 1843, un grupo obtenido de la misma manera, que fué expuesto al público en el curso de física de aquel año.

La feliz idea que ha tenido M. Hulot de sacar el relieve en gutta-percha del dibujo de un mapa geográfico grabado en cobre, con objeto de obtener despues todas las planchas metálicas que se quieran, reproduciendo el mismo grabado, para marcar en ellas las diferentes divisiones, puede hacer ver el porvenir inmenso de esta aplicacion, que ya en el caso citado, además de la ventaja de la exactitud, ha reducido los costos á menos de un décimo de lo que hubieran sido grabando todas las planchas que se necesitaban.

No menos feliz es la aplicacion que ha hecho un grabador del depósito de la Guerra, en Francia, proponiendo el medio de hacer fácilmente las correcciones y modificaciones que se quieran en una plancha de cobre en que el grabado necesite variarse. Cubre para ello con un barniz aislador toda la plancha, excepto el trozo ó línea que se quiere borrar; la somete á la accion galvano-plástica, y aquella parte se rellena otra vez de cobre, sobre el cual se graba de nuevo despues de pulimentarlo, para que quede al nivel de lo demás.

Digno es tambien de mencionarse, ya que no nos podamos detener á describirlo, el procedimiento de M. Salmon para reproducir grabados y fotografías. En el tercer tomo de la obra de Du Moncel se explican con alguna detencion las operaciones químicas y eléctricas en que se funda.

M. Hansen ha propuesto otro sistema de grabado, que no deberíamos mencionar entre las aplicaciones electro-químicas, porque es electro-mecánica; pero como no dirémos de

él sino que es exactamente el principio del telégrafo autográfico de Backwell, que explicarémos en el próximo capítulo, y en el cual el lápiz está reemplazado por un buril, puede figurar mejor la mencion de la idea al lado de la de M. Salmon, que aislada en el párrafo de aplicaciones electromecánicas.

M. Oudri, que ha presentado á la Academia de Ciencias de Paris una magnífica coleccion de productos de galvanoplástica, promete nuevas maravillas con el sistema que ha imaginado para forrar en cobre, por medio de la electricidad, los cascos de madera ó de hierro de los buques. Sentimos no podernos detener para dar á conocer las ventajas que resultarian en la navegacion, si fuera posible adoptar su sistema económicamente. Hablariamos tambien de los inmensos talleres de Elkington en Birmingham, donde por primera vez se han aplicado las máquinas electro-magnéticas, en lugar de pilas, para obtener el depósito galvano-plástico; pero nos falta espacio para ello. No dejarémos, sin embargo, de mencionar otra aplicacion importante de la galvano-plástica. Se debe á los Sres. Le Molt y Robert, que han ideado construir reflectores con vidrios cóncavos, sobre los cuales depositan, por medio de la pila, una capa de plata semejante al estañado de los espejos; con un reflector de estos ha podido verse la hora en un reloj de bolsillo á 100 metros de distancia, á pesar de ser muy pequeño.

APLICACIONES FISIOLÓGICAS.

Aunque antes del descubrimiento de Oersted, vemos ya aplicar la electricidad á la curacion de algunas enfermedades, por medio de las conmociones de las máquinas eléctricas ordinarias, la medicina no ha sacado un verdadero partido de este agente, sino cuando el conocimiento de los fenómenos de la induccion ha permitido construir los aparatos de Breton, Duchenne, Ruhmkorff y otros, que hemos descrito en el ca-

pítulo v. Pulvermacher, con sus pilas de cadenas, ha sido uno de los que con mas fortuna han empleado la electricidad en la terapéutica.

Hace poco tiempo los Sres. Vergnes y Poey de la Habana han pretendido extraer del cuerpo humano las partículas metálicas absorbidas, ya por los poros, ya por el conducto digestivo. Meten para ello al paciente en un líquido acidulado contenido en un baño de metal, aislado del suelo, y lo mantienen sentado en un banco de madera, aislado del baño, al cual no debe tocar el enfermo. Este toma en las manos el polo positivo de la pila, y uno de los extremos del baño se pone en comunicacion con el negativo.

Si son exactos los hechos que los autores han expuesto á la consideracion de la Academia de Ciencias de Paris, los resultados no pueden ser mas maravillosos. El célebre químico y fisiólogo Raspail disputa con alguna razon, segun parece, la prioridad de esta invencion.

En la *Historia de la Electricidad médica*, de M. Guitard, y en el magnífico *Tratado de las aplicaciones de la Electricidad*, publicado recientemente por Du Moncel (al cual debemos una gran parte de los materiales que han servido para formar este capítulo) pueden verse las infinitas maneras de aplicar la electricidad á la medicina, por medio de las máquinas ordinarias, ya en forma de baños, sumergiéndose en una atmósfera eléctrica, positiva ó negativa, recibiendo la accion de las puntas ó de las chispas, sufriendo conmociones ó dándose fricciones con cepillos metálicos aislados y puestos en comunicacion con las máquinas.

El galvanismo permite administrar la electricidad en forma de baños tambien, como hemos visto en la invencion de Raspail, Poey y Vergnes; sometiéndose á la accion de la corriente, por conmociones, por medio de la galvano-puntura, por moxas; por cauterizacion, y por aplicaciones varias, como las cataplasmas, los tejidos, las mixturas y las cadenas galvánicas: estas últimas se han descrito en el capítulo II.

En cuanto á la electrizacion por induccion, son infinitos los medios de hacerla, valiéndose de las corrientes de primer órden, de las de segundo, de la extra-corriente, y aplicando ventosas, esponjas y aun sacos eléctricos, que no es del caso describir aquí.

Los efectos fisiológicos de la electricidad, de que tanto partido ha sacado M. Duchenne para reproducir las diversas expresiones de la fisonomía humana, contractando ciertos músculos, no se han aplicado exclusivamente á la medicina, sino á la industria y aun á la seguridad doméstica. Como ejemplo de lo primero, citarémos el aparato electro-magnético construido por M. Jacobi, célebre físico de San Petersburgo, y destinado á la pesca de la ballena. Es una verdadera máquina de induccion, que al menor movimiento produce choques sensibles, y debe por consiguiente aturdir á la ballena cuando se le ha clavado el arpon que comunica con la máquina. En cuanto á la segunda de las aplicaciones, basta poner uno de los dos polos del aparato de Ruhmkorff en comunicacion con una reja de hierro, cerrojo ó cerradura cualquiera, y el otro con una plancha metálica, puesta en el suelo delante de la puerta; en el momento en que álguien quiere abrir, tocando la cerradura, recibirá una série de conmociones irresistibles; es verdad que á un ladron instruido le seria muy fácil abrir impunemente; pero debemos abstenernos de indicar los medios, por mas que su sencillez haga parecer fútil esta precaucion.

APLICACIONES FÍSICAS.

La intensidad extraordinaria de la luz eléctrica, cuando los dos reóforos de una fuerte batería voltáica terminan por dos puntas de carbon, fenómeno descubierto por Davy, habia dado la idea, hace tiempo, de emplear dicha luz como alumbrado en ciertos casos; pero la necesidad de mantener los carbones á cierta distancia proporcional á la intensidad de

la pila, y la dificultad de conseguirlo, por el rápido consumo de uno de ellos, habian dejado sin resolver el problema hasta que, en 1848, Staite y Petrie construyeron en Lóndres un aparato, por medio del cual los carbones se aproximaban á medida que se iban gastando, y la luz era por consiguiente continua ; estos aparatos se han llamado *reguladores de la luz eléctrica*.

Casi al mismo tiempo presentó M. Foucault en la Academia de Ciencias de Paris otro aparato de la misma especie, y sucesivamente han construido los suyos Archereau, los hermanos Breton, Duboscq, Deleuil, Jaxton, Jaspar, Allman y Loiseau.

Mas ó ménos variados, todos estos aparatos se fundan en el mismo principio : hacer que cuando la distancia entre los dos carbones llegue á ser tal que no pase la corriente con la intensidad suficiente para producir la luz eléctrica, un electroiman interpuesto en el circúito deje obrar un resorte sobre los tubos en que están encajados los lápices de carbon y los aproxime; establecida de nuevo la corriente, el electro-iman vuelve á sujetar el resorte, hasta que la distancia interrumpe otra vez el paso del flúido del uno al otro carbon, y el resorte vuelve á empujarlos de nuevo. Aunque la aproximacion de los carbones es intermitente, cuando los aparatos están bien arreglados, los períodos de movimiento y de reposo son tan rápidos y regulares, que equivalen á un movimiento de progresion continua; así es que en las grandes construcciones de la calle de Rivoli en Paris, en 1854, se ha empleado la luz eléctrica para poder continuar de noche los trabajos; dos focos luminosos producian una claridad semejante á la de una luna muy fuerte, y permitia desempeñar muy bien todas las faenas generales de una obra, como el acarreo de materiales, la preparacion de morteros, etc., etc., en una superficie de mas de 20,000 metros cuadrados. Para el tallado de las piedras y otros ejercicios que no exigen movimiento y en los cuales puede estorbar la sombra intensa que se pro-

yecta sobre los objetos no expuestos á la luz, era necesario un alumbrado especial con faroles ó lámparas comunes. Con el mismo aparato, segun leemos en una publicacion francesa, se iluminaban las grandes construcciones de los almacenes llamados *Docs Napoleon*, y el gasto no excedia de 14 francos cada noche para alumbrar á 800 trabajadores.

M. Liais y M. Martin de Brettes han propuesto los medios de perfeccionar el alumbrado por medio de la luz eléctrica, haciendo desaparecer los inconvenientes que presentan los simples reguladores de que hemos hablado. Segun el primero, haciendo que un conmutador cambie incesantemente la direccion de la corriente, los dos carbones se gastarán con igualdad, y puede al mismo tiempo conducirla á dos sistemas de carbones que forman el foco luminoso. Haciendo, por otra parte, girar rápidamente el aparato, se disimulará el paso de la corriente de uno á otro carbon; y por último, colocando estos en un globo que contenga un gas poco á propósito para la combustion, deben gastarse mucho menos. M. Martin de Brettes propone, además del regulador, *un sistema amplificador*, que consiste en una armazon poligonal de hierro, en la cual hay seis lentes de faro. Esta armazon está montada de manera que puede girar alrededor de su centro, y tener al mismo tiempo un movimiento oscilatorio. Combinados ambos de manera que los lentes pasen diez veces por segundo en la misma direccion, se mandará un rayo luminoso á los diferentes puntos del espacio, y los iluminará de una manera continua, puesto que la persistencia de la impresion visual es precisamente de un décimo de segundo.

El 26 y el 27 de octubre de 1856 se ensayó en los Campos Eliseos la lámpara foto-eléctrica de los Sres. Lacassagne y Thiers, de cuyos admirables resultados se hablaba hacia ya mas de seis meses, y que tuvimos ocasion de mencionar en el capítulo II al describir la pila ideada por los mismos señores.

Los números del *Cosmos* del 31 de octubre y siguientes dan una descripcion del resultado de los ensayos y de los aparatos

que constituyen el sistema completo de los Sres. Lacassagne y Thiers; nosotros no harémos mas que dar una idea muy ligera de estos últimos.

Constan de dos partes principales además de la pila, que son la lámpara foto-eléctrica propiamente dicha, y el regulador electro-métrico.

En la primera, los inventores se han valido de un mecanismo enteramente nuevo para que los carbones se conserven á la misma distancia siempre. En vez de las ruedas dentadas y demás piezas que arrastraban en su marcha el carbon inferior, cuando se interrumpia la corriente, hacen que este movimiento se verifique por la salida proporcional de cierta cantidad de mercurio contenido en un recipiente. Si se concibe el lápiz de carbon unido á un flotador que va subiendo en un tubo á medida que entra en él el mercurio, y una válvula que solo permite el paso del recipiente al tubo cuando la abre el resorte antagonista de un electro-iman, se comprende que esto no sucederá sino cuando gastándose el carbon se debilite la corriente, y el efecto ha de ser mucho mas graduado que en las ruedas dentadas de los otros reguladores, porque hay constantemente dos fuerzas que tienden á equilibrarse, y que deben producir un chorro continuo de mercurio exactamente proporcional á lo que se gasten los carbones; porque la distancia entre ellos regula la corriente, y la intensidad de esta es la que contraresta en el electro-iman la fuerza del resorte antagonista que hace funcionar la válvula de salida del mercurio.

El regulador electro-métrico lo emplean los Sres. Lacassagne y Thiers con objeto de obtener corrientes eléctricas invariables, en cuya regularidad no puedan influir ni la inconstancia de las pilas ni las variaciones atmosféricas; puede además con él graduarse la corriente á voluntad, y saber exactamente la cantidad de electricidad dinámica que se emplea en un trabajo cualquiera, porque este aparato no es aplicable solo al alumbrado.

Concíbase el conductor de una pila interrumpido, y que los dos extremos de la interrupcion, despues de penetrar en una campana ó gasómetro de vidrio, terminan en dos láminas de platino, que se sumergirán mas ó menos en un líquido acidulado que cubre la campana, segun sea mayor ó menor la tension de los gases que se desprenden por la descomposicion del agua; y como esta crece proporcionalmente á la intensidad de la corriente, resultará que cuando las láminas de platino estén enteramente sumergidas en el líquido, la corriente de la pila pasará toda sin resistencia, el desprendimiento de gases será considerable, y no pudiendo salir por una abertura graduada, la campana subirá, y con ella, las láminas de platino, que teniendo menos superficie en contacto con el líquido, opondrá mas resistencia al paso de la corriente, y disminuirá la produccion de gases, con lo cual bajará la campana otra vez. Ahora bien, si se fija en esta un electro-iman con una armadura de palanca, cuyo resorte antagonista sea una especie de émbolo adaptado al tubo de salida de los gases, y que la presion de estos se oponga con él á la accion magnética del electro-iman, se tendrán, como en la lámpara foto-eléctrica, dos fuerzas contrarias que tienden á equilibrarse, y habrá un escape de gas continuo y proporcional á la intensidad de la corriente, pues el orificio de salida lo regula la armadura de palanca que se mueve al menor desequilibrio entre las fuerzas, y cuyo movimiento es inseparable del de la campana, que al sumergirse por debilitarse la corriente, aumenta la intensidad de esta, y por el contrario, la disminuye cuando el exceso de produccion de gases indica que pasa demasiada electricidad por el regulador electrométrico. Con solo variar el orificio de salida se gradúa la intensidad de la corriente, y haciendo pasar los gases á una probeta graduada, se mide por medio de una tabla de equivalentes electro-químicos la cantidad de electricidad dinámica consumida en un tiempo dado.

Se han propuesto varios medios de emplear la luz eléctrica

al alumbrado de las grandes poblaciones, ya como en los trabajos citados de la Rue de Rivoli y de los Docs Napoleon, en que un generador eléctrico sirve solo para poner en accion un gran foco de luz, ya como lo han propuesto Wartmann y Quirini, á imitacion del alumbrado de gas, es decir, que un generador sirva para iluminar un gran número de mecheros repartidos por las calles y establecimientos, y alimentados por un conductor general con sus derivaciones; ya, en fin, como lo ha ensayado Deleuil, multiplicando las pilas y los aparatos eléctricos, pero formando todos ellos un conjunto. Cada uno de estos métodos tiene sus inconvenientes, que no hacen posible por ahora su adopcion para el alumbrado público independientemente del del mayor coste; el primero necesitaria elevar el foco de luz á una altura inmensa para que la proyeccion de las sombras no superara á la de la luz en la mayor parte de las calles; los segundos no pueden obtener por mucho tiempo la regularidad indispensable en todos los mecheros, y exigirian un cuidado demasiado grande.

No acabariamos si hubiéramos de enumerar todas las aplicaciones que se han propuesto de la luz eléctrica empleada como medio de iluminacion; entre ellas pueden considerarse como mas importantes la de M. Petrie á los faros, por medio de la cual se consigue producir una iluminacion intermitente con períodos regulados de antemano; la que se ha hecho sustituyéndose á la luz del sol en los experimentos de física, y de lo cual solo puede formarse idea asistiendo á las maravillosas veladas de Duboscq; en la obra de Du Moncel citada, está la lista de dichos experimentos. Las operaciones militares, segun demuestra M. Martin de Brettes, encontrarán un auxiliar poderoso en la luz eléctrica, tanto por mar como por tierra; en la navegacion se evitarian los infinitos casos de abordaje que hoy ocurren, si los buques fueran provistos de un fanal en la proa; y sucederian menos desgracias con el empleo de las boyas iluminadas. Las artes se han valido tambien de la luz eléctrica en las representaciones teatrales y en las repro–

ducciones foto-gráficas; y algunas industrias, como la de la pesca, se proponen obtener ventajas inmensas.

La propiedad notable que tiene la luz eléctrica de producirse en el agua y en el vacío la hacen susceptible de dos aplicaciones importantes: Du Moncel indica los medios de hacer la primera en los trabajos submarinos, y principalmente cuando se trata de exploraciones en el fondo del mar ó de salvar objetos perdidos en algun naufragio.

Varios sábios reclaman la primacía en la idea de hacer la segunda de las aplicaciones á que nos hemos referido: la de emplear la luz eléctrica en los trabajos de las minas.

De La-Rive, Boussingault y Louyet, aunque el último con mas razon, segun parece, son los que se disputan la idea, cuya aplicacion no se hizo sino en 1845 por M. Boussingault, de evitar el peligro que corren los obreros cuando se desprenden gases inflamables en las minas de carbon de piedra; encerrando cada foco luminoso con un regulador en un globo herméticamente cerrado, se impediria tal vez lo que no ha podido impedirse con las lámparas de Davy; sin embargo, últimamente M. Dubrull ha propuesto lámparas de Davy perfeccionadas de manera, que no es posible abrirlas sin apagar la luz, aunque se puede arreglar la mecha sin dificultad. Por ahora dudamos que la luz eléctrica pueda sustituir con ventaja las lámparas de Davy perfeccionadas, como no sea en casos muy especiales.

De mas porvenir creemos para la minería otra de las aplicaciones físicas de la electricidad : la inflamacion de las sustancias explosibles á grandes distancias. Este descubrimiento lo hizo casualmente Mr. Brunton durante los experimentos verificados en Lóndres para el ensayo del telégrafo submarino de Douvres á Calais. Habiendo encontrado un defecto en uno de los alambres del cable, y examinándolo atentamente, observó con admiracion, en el sitio en que estaba interrumpido, una série de chispas que pasaban con extraordinaria rapidez; fenómeno nuevo para la ciencia y que trató

de aplicar á la explosion de los barrenos. Los ensayos que hizo con Statham fueron felicísimos, y no tardaron en reconocer que con un petardo muy sencillo construido segun las condiciones que se habian observado en el cable, se podia obrar á una distancia casi ilimitada, con un alambre delgado y una batería débil. El petardo, cuya descripcion darémos porque es muy interesante, se hace tomando dos pedazos de alambre de cobre revestido de gutta-percha pura, á cuyos extremos se les quitan unos dos milímetros de la gutta-percha; se toma despues un pedazo de esta sustancia galvanizada, de unos 25 milímetros, con el cual se envuelven los dos extremos de los alambres, que se habian dejado descubiertos, conservando entre las dos puntas una distancia de unos 3 milímetros, los otros dos extremos de los alambres se enroscan como lo indica la figura 163, y en ellos se fijan los alambres que han de poner el petardo en comunicacion con los polos de la pila ó con uno de ellos y con la tierra, si como se verifica siempre, entra esta en el circúito. Cuando se va á usar el petardo se recorta en la gutta-percha galvanizada una muesca que ponga á descubierto las dos puntas de cobre y permita llegar á ellas la pólvora del cartucho ó barril que se quiere hacer saltar.

Fig. 163.

A pesar de los buenos resultados del método de Brunton y de Statham, empleado en la inauguracion del telégrafo submarino de Calais á Douvres, para pegar fuego desde un extremo del cable á la pieza de artillería que se hallaba en el otro, era necesario valerse de una pila de gran tension, y el problema no hubiera tenido una solucion completa sin los trabajos del coronel español D. Gregorio Verdú, que imaginó aplicar á este uso las corrientes de induccion, y ayudado del constructor Ruhmkorff, se sirvió de la máquina de este último, modificada convenientemente, de modo que con un sim-

ple elemento de Bunsen ó un aparato comun de Clarke, consiguió inflamar la pólvora á una distancia, primero de 400 metros; aumentada despues sucesivamente hasta 26,000. Estos experimentos, verificados en 1853 en la Villette, cerca de Paris, fueron seguidos de otros mas concluyentes aun, en 1854, en los alrededores de Guadalajara, donde se dispusieron hasta cuatro hornillos de mina, que volaron al mismo tiempo con un solo aparato, sin que fuera posible percibir en las diferentes veces mas que una sola detonacion; tan simultáneas eran las explosiones.

Despues del coronel Verdú, el capitan francés Savare y Du Moncel han propuesto otros medios mas económicos tal vez, y mas seguros para obtener diferentes explosiones á un tiempo; pero el mérito de este experimento en grande, y el estudio para su aplicacion al ataque de las plazas fuertes, corresponden á nuestro compatriota, que lo ha explicado en una interesante memoria titulada *Minas de guerra*. El método de Du Moncel se ha aplicado con éxito en Cherbourg para hacer volar enormes masas de roca en las obras de ensanche de aquel puerto.

En una memoria publicada en junio de 1856 por el baron de Ebner, mayor del cuerpo imperial de ingenieros de Austria, sobre la aplicacion de la electricidad á las minas de guerra, se describen los experimentos hechos por el cuerpo de ingenieros con aparatos que difieren esencialmente de los usados por Verdú y Du Moncel. El baron de Ebner dice que el empleo de la electricidad dinámica tiene entre otros inconvenientes, el de la complicacion, mientras que el método usado por los ingenieros austriacos no puede ser mas sencillo. En una caja que pesa solo 17 libras hay un disco de vidrio que frota contra unas almohadillas, y cargan una botella de Leyden; bastan diez ó doce vueltas del manubrio para que esta se cargue, y cerrado el circúito, salte la chispa á 30 kilómetros. En otros aparatos mas completos hay dos discos y un hornillo para mantener seco el interior de la caja.

M. Ador, conocido por sus invenciones, ha ideado un aparato eléctrico por medio del cual, dice, puede desprender un metro cúbico de gas por minuto, descomponiendo el agua y dotado además de la facultad extraordinaria de reducir el gas producido á un estado de tension eléctrica ó de fulguracion tal, que lo convierte en una especie de globo de fuego ó rayo esferoidal, y puede lanzar proyectiles ó producir un efecto mecánico cualquiera.

Prolijo seria entrar en la enumeracion de las aplicaciones que podrian hacerse de esta propiedad de las corrientes eléctricas; baste decir que la artillería, la marina y cuanto tiene relacion con la ciencia militar, la minería, las obras públicas y la pirotecnia, verian disminuir el número de víctimas que ocasionan los actuales métodos, si llegara á perfeccionarse el que acabamos de indicar, conciliando la economía y la sencillez con la seguridad que es indisputable en él.

No hace mucho se ha instalado en el Observatorio astronómico de Paris una mira para las observaciones de noche, que se enciende inflamando el gas del alumbrado por medio del aparato de Ruhmkorff á unos 100 metros del sitio de la observacion, segun un método propuesto por los Sres. Liais y Du Moncel.

En el mismo principio, y valiéndose casi de los mismos medios, ha propuesto M. Treve posteriormente, un sistema telegráfico de noche, que permite establecer una comunicacion segura y rápida entre dos buques, entre una escuadra y un puerto bloqueado, ó en cualquiera otra circunstancia análoga.

Los ensayos hechos en Paris á fines de 1856 han tenido un resultado brillante, y han merecido que Despretz hiciera de ellos un elogio en la Academia de Ciencias de Paris.

Terminarémos la relacion de las aplicaciones de los efectos caloríficos de la electricidad mencionando las que se han hecho á la fusion de los metales, ya de los que se reputan infusibles en las artes, ya de los que en un trabajo cualquiera, como en la apertura de un pozo artesiano, se quedan en el in-

terior del agujero; en fin, la metalurgia no debe desesperar de verse algun dia poderosamente auxiliada por este agente.

APLICACIONES MECÁNICAS.

Las aplicaciones físicas, químicas y electro-médicas que acabamos de recorrer, no son ni las mas numerosas ni las mas importantes de la electricidad. Las aplicaciones mecánicas, por su multiplicidad y por lo maravilloso de sus efectos, merecen tal vez ocupar el primer lugar; sobre todo la telegrafía, que disputa á la imprenta y al vapor el mérito de haber cambiado la faz del mundo, y que tiene sobre sus rivales el indisputable de haberlo hecho con la misma rapidez casi con que trasmite el pensamiento de un extremo á otro de la tierra.

Los trabajos que se han hecho en la telegrafía desde el año 1838, en que puede decirse que nació este ramo de la electricidad, son tales, y tan grande el número de aparatos propuestos, que aun haciéndonos cargo solo de los principales y describiéndolos muy ligeramente, apenas podrémos encerrar tan extensa materia en un capítulo especial; no harémos pues en este, mas que dar una idea del principio, base de la mayor parte de las aplicaciones mecánicas de la electricidad que tratarémos en él, pudiendo comprenderlas todas, porque aunque no menos ingeniosas que los telégrafos, son en el dia menos importantes, y podrémos tocar mas brevemente aquellas que no tienen una relacion inmediata con el objeto de nuestro trabajo, es decir, con la aplicacion de la electricidad á los caminos de hierro.

Los telégrafos eléctricos mas usados en el dia, cuyo orígen discutirémos mas adelante, se fundan en uno de dos fenómenos, que hemos explicado en el capítulo del electro-magnetismo, segun el sistema á que pertenezcan los aparátos que se emplean. El mas sencillo, debido á Wheatstone y conocido con el nombre de *telégrafo de agujas*, se reduce á un

multiplicador de Schweiger, cuya aguja se inclina á derecha ó á izquierda, segun la direccion que se haga tomar á la corriente. Los telégrafos de muestra, el de Morse y otros varios que darémos á conocer, obran en virtud de la propiedad que tiene un pedazo de hierro dulce, introducido en una hélice de alambre metálico, de imantarse cuando se hace pasar por ella una corriente eléctrica, y de desimantarse tan luego como se interrumpe. Hay además otra clase de telégrafos construidos segun un principio enteramente distinto de estos dos, pero que dimos á conocer en el capítulo II, y son los electro-químicos, en que un cuerpo se descompone ó permanece inalterable, segun pasa ó no la corriente eléctrica al través de los alambres.

Explicarémos brevemente la manera de funcionar de cada uno de estos tres sistemas, sin entrar en pormenores que mas adelante se verán; lo esencial aquí es hacer ver cómo puede ejecutarse la señal á distancia, y para ello harémos una observacion, que se refiere á cualquier sistema indiferentemente.

Todo telégrafo se compone de cuatro partes esenciales: 1.ª de la pila ó generador de la electricidad; 2.ª del manipulador ó aparato para establecer ó interrumpir el circúito eléctrico; 3.ª del receptor ó aparato que se coloca á distancia, y en el cual han de reproducirse los signos que se han hecho con el manipulador, y 4.ª del conductor ó alambre que pone en comunicacion la pila, el receptor y el manipulador.

El receptor, en los telégrafos llamados de agujas, hemos dicho que es un simple galvanómetro multiplicador de Schweiger; y en efecto, concíbase un circúito eléctrico, compuesto de la pila y de un alambre doble ó de un alambre y la tierra. Si en un extremo de este circúito se introduce un galvanómetro, es decir, una aguja rodeada por un alambre metálico, cada vez que pase la corriente por el alambre, la aguja se inclinará á un lado ó al otro, segun el sentido de la

corriente, y volverá á su posicion normal cuando se interrumpa aquella; por consiguiente, bastará establecer en el otro extremo del alambre un simple conmutador de corrientes, que será el manipulador, para que dos personas convenidas de antemano se comuniquen de un extremo á otro del alambre; pues la que tenga el manipulador puede inclinar la aguja hácia el lado que quiera y las veces que le convenga, y si cada una de estas combinaciones tiene su letra ó significacion, la que se halle en el receptor podrá ir haciéndose cargo de los signos y traduciendo.

El telégrafo de Morse, y en general todos los que escriben, tienen por receptor un electro-iman, cuya armadura es atraida cada vez que pasa la corriente, y separada por un resorte en el momento en que deja de pasar aquella. Si el manipulador es un simple interruptor conjuntivo, como el de la figura 137, capítulo IV, se comprenderá que basta apoyar el dedo en él para establecer la corriente, y que esta dejará de pasar en cuanto se levante aquel; por consiguiente la armadura del electro-iman receptor será atraida y repelida cuantas veces se quiera, desde el otro extremo del alambre; y el paso de la corriente podrá ser instantánea ó prolongada á voluntad de la persona que tiene el manipulador. Bastaria, por consiguiente, para entenderse, convenir de antemano en dar cierto valor de letras ó signos á la combinacion de atracciones instantáneas y prolongadas; pero este telégrafo no se contenta con hablar, sino que escribe, y para ello tiene en la armadura del electro-iman un lápiz ó punzon, que no toca en ninguna parte cuando está interrumpido el circúito eléctrico, pero que se apoya en un papel cuando es atraido por el hierro dulce imantado; ahora bien, si el papel en que se apoya el lápiz se mueve continuamente y va pasando con regularidad por el punto en que viene á apoyar el lápiz, es claro que este trazará sobre él ó puntos ó líneas, segun sea la atraccion instantánea ó prolongada. La combinacion de puntos, rayas ó espacios forman las letras y palabras ó signos convencionales.

En el telégrafo de muestra se utiliza la misma propiedad del hierro dulce; pero el movimiento de la armadura del electro-iman produce otro efecto diferente. El manipulador del telégrafo de muestra consiste en un círculo, en cuya circunferencia se hallan escritas las veinte y seis letras del alfabeto, sobre cada una de las cuales puede colocarse la punta de una aguja que gira en el centro del círculo. El eje en que se halla esta aguja es el mismo de una rueda metálica, que tiene trece dientes y trece intervalos rellenos de una sustancia aisladora, ó sean veinte y seis divisiones, que corresponden á cada una de las veinte y seis letras de la muestra que se halla encima; de suerte que un resorte metálico fijo, que apoya contra la circunferencia de la rueda, cuando esta da una vuelta entera, se encuentra alternativamente trece veces en contacto con un diente metálico, y otras trece con un diente aislador, y por lo tanto, si los dos polos de la pila vienen á parar el uno al resorte y el otro al eje de la rueda, el circúito se encontrará establecido trece veces, y otras tantas interrumpido, para cada vuelta que dé la rueda; y la armadura de un electro-iman fijo en el *receptor* será atraida y repelida el mismo número de veces. Esta armadura, en vez de tener un punzon como en el telégrafo de Morse, se halla en combinacion con un escape doble, de construccion particular, de modo que cada vez que es atraida ó repelida deja pasar un diente de una rueda, que tiene veinte y seis, en cuyo eje hay fija una aguja que da vueltas al rededor de un círculo como el del manipulador, sobre el cual se hallan las veinte y seis letras del alfabeto en el mismo órden. Ahora bien, se comprende que si las dos agujas están simétricamente colocadas en el manipulador y en el receptor, bastará moverla en aquel para que se mueva en este; y como las dos ruedas de uno y otro tienen el mismo número de dientes, á cada paso de los del manipulador habrá una atraccion ó una repulsion en el electro-iman del receptor, y se producirá otro paso en su rueda correspondiente. No es necesario pues, para en-

tenderse, mas que ir leyendo las letras sobre las cuales se detiene la aguja un rato.

El telégrafo electro-químico de Bain se funda en la propiedad que tiene la corriente eléctrica, que pasa por un alambre de hierro, de descomponer el cianuro de potasio. Consta pues el aparato de un manipulador semejante al del telégrafo de Morse, que hemos descrito, y el receptor se reduce á un punzon ó alambre de hierro, que apoya sobre un cilindro metálico; y sobre este, interpuesto entre él y el punzon, va pasando una tira de papel empapado en una disolucion de cianuro de potasio. Cada vez que se establece el contacto con el interruptor, el paso de la corriente descompone el cianuro, y queda trazado en el papel un punto ó una raya azul, segun sean los contactos instantáneos ó prolongados. Los signos son, pues, como en el telégrafo de Morse; así es que se usa el mismo alfabeto que en aquel.

Hemos descrito los cuatro principios elementales de los telégrafos mas usados, no precisamente como se emplean, sino reducidos, por decirlo así, á su esencia. En el capítulo siguiente podrán verse tales como existen en los aparatos usados, y todas las modificaciones que se han adoptado ó ensayado con algun éxito, así como otras aplicaciones de los mismos principios, por medio de los cuales hasta se ha conseguido, no solo imprimir á distancia en caractéres comunes, sino autografiar la letra de una persona cualquiera.

Relojes eléctricos.

Despues de los telégrafos eléctricos, la mas importante de las aplicaciones mecánicas de la electricidad es, sin disputa, la que tiene por objeto hacer marchar á distancia uno ó varios relojes, con una regularidad que es absolutamente imposible obtener en los relojes comunes, y que es casi infalible en los eléctricos.

La relojería eléctrica es una consecuencia inmediata de la telegrafía, y apenas resuelto este problema, debió presentar-

se á la imaginacion del hombre la idea de valerse del nuevo agente, para que no fuera ilusoria la exactitud en la hora que marcan los diferentes relojes de una gran ciudad ó de una línea de ferro-carril; la concepcion de la idea ha debido ser por consiguiente simultánea con la de trasmitirse la palabra, en la mente de algunos físicos, y no ha debido venir mucho despues á la de otros. En cuanto á la realizacion práctica, es indudable que pertenece al sábio Steinheil, al mismo á quien corresponde la gloria de haber sido el primero que estableció un telégrafo eléctrico; un documento auténtico lo acredita así, y es la concesion exclusiva, hecha por el rey de Baviera, para la construccion de relojes eléctricos, á favor del físico de Munich.

Wheatstone y Bain, en Inglaterra, se disputaron encarnizadamente la prioridad de esta invencion, y el mundo científico siguió con interés esa lucha, tomando partido ya por uno, ya por otro, hasta que, conocido el documento que hemos citado, recayó en un tercero la gloria que ambos reclamaban para sí; debe, sin embargo, consignarse que, segun el Boletin de la Academia de Bruselas, antes del 8 de octubre de 1840 Wheatstone habia aplicado el principio de su telégrafo á hacer leer simultáneamente en varios puntos la hora marcada por un reloj, y el 26 de noviembre del mismo año, no solo leyó en la Sociedad Real de Lóndres una descripcion de su invento, sino que presentó algunos aparatos, que funcionaron la misma noche en la sala de la Biblioteca. Bain pretende que en 1838 habia ya inventado un reloj eléctrico, pero no ha podido probarlo de una manera auténtica.

Aunque casi tan interesante como la de los telégrafos, no nos es posible entrar, como lo harémos con ellos, en la enumeracion de las modificaciones que ha ido experimentando el mecanismo de los relojes eléctricos; nos limitarémos á mencionar las mas notables, despues de indicar el principio general. Este, como en los telégrafos eléctricos, se funda en el

efecto mecánico que puede producir un electro-iman cuando se establece, y se interrumpe alternativamente el paso de una corriente eléctrica al través de sus espiras. Concíbase, en efecto, en un telégrafo de muestra un manipulador que interrumpa y restablezca la corriente con una igualdad perfecta, y que la aguja puesta en movimiento por el electro-iman dé una vuelta cada doce horas delante de una verdadera muestra de reloj, en que se hallen escritos los números en vez de las letras, y se tendrá un reloj eléctrico regido por la mano de un hombre; si en vez de hacerlo con un manipulador, se establece y se interrumpe la corriente por medio de la péndola ó de cualquiera otra pieza que regule la marcha de un reloj ordinario, el movimiento de la aguja de este, que se llama *reloj tipo*, se reproduce fielmente en el receptor, y este recibe el nombre de *reloj electro-cronométrico*. Si en vez de ser un reloj tipo, se emplea para interrumpir y establecer el circúito un péndulo que oscila segundos, por ejemplo, y cuyo movimiento se mantiene á su vez por la accion eléctrica, en ese caso el receptor marca la hora de la misma manera, y se llama *reloj electro-magnético*. Es inútil decir que tanto en uno como en otro sistema puede hacerse, por medio de mecanismos muy sencillos, que sean dos las agujas que marchan, ó mas si se quiere obtener la indicacion de segundos. la del dia de la semana, etc. En cuanto á la bondad de los sistemas electro-cronométrico y electro-magnético para el reloj tipo, no es posible decidir aun cuál es el que presenta mas ventajas; las opiniones de los constructores están divididas, y solo la experiencia podrá dar un fallo inapelable; en cuanto á la utilidad de los relojes eléctricos como receptores para marcar la misma hora en diferentes puntos, es incontestable, y tanto en Inglaterra como en Alemania se han generalizado rápidamente; en Francia apenas hay algunos establecidos, á pesar de que no faltan excelentes constructores, cuyos sistemas vamos á revisar con la mayor brevedad posible, junto con las de otros de Inglaterra, Bélgica y Alemania.

Relojes electro-cronométricos.

M. Paul Garnier, uno de los mas firmes sostenedores del sistema que emplea un reloj tipo mecánico para trasmitir el movimiento á los relojes eléctricos, establece el interruptor de la corriente en uno de los ejes de mayor velocidad de la campana de las horas. El reloj eléctrico propiamente dicho, ó receptor, se compone de una muestra comun, detrás de la cual se halla el electro-iman interpuesto en la corriente. Este se coloca verticalmente, y su armadura tiene un gancho, que á cada movimiento que hace obra sobre dos ruedas armadas de sus áncoras de escape y de un mecanismo sencillo en relacion con las agujas.

En los grandes relojes que ha construido M. Garnier, coloca el electro-iman de manera que su propio peso sirve de resorte antagonista ó de reaccion para separarlo del electro-iman cuando no pasa la corriente, sin duda con objeto de economizar alguna fuerza; pero eso tiene el inconveniente de producir en las agujas cuando son grandes un movimiento de trepidacion ó estremecimiento que puede hacer partir el escape.

M. Froment ha querido evitarlo, y ha provisto sus armaduras de resortes secundarios, y las agujas de sus relojes tienen un movimiento seco y sin vibracion, marcan siempre segundos, y el mecanismo interruptor que las hace marchar consiste en una rueda de escape puesta en relacion con el reloj tipo de tal manera, que cada uno de sus dientes viene á tocar un resorte fijo en cada segundo; este resorte es una simple lámina de oro muy delgada en comunicacion con una rama de la corriente, la otra lo está con la rueda, y por consiguiente, el circúito se cierra en cada contacto, es decir, en cada segundo.

En los sistemas que hemos citado, el movimiento del mecanismo que hace marchar las agujas, recibe la accion directa

del electro-iman, y necesita por consiguiente, que la corriente sea algo fuerte. Breguet ha querido que esta sea lo mas débil posible, aplicando á los relojes el principio de su telégrafo eléctrico; es decir, que toma relojes ordinarios sin péndola ó volante, y el electro-iman no tiene mas oficio que regularizar la marcha.

El vizconde Du Moncel propone un sistema en que la hora, como la de los relojes italianos, aparece en dos aberturas ó ventanillas; una que presenta las horas y otra los minutos de cinco en cinco. El sistema de escape que emplea es sumamente curioso; estriba en la forma de la armadura del electro-iman, y es aplicable á todo telégrafo en que se mueva el círculo que contiene los signos. El interruptor, sencillo como el que mas, es una circunferencia metálica, armada de lengüetas de hierro dulce, que se aplica sobre la muestra del reloj tipo; el minutero de este va tocando las lengüetas, y cerrando y abriendo por consiguiente el circúito, si una de sus ramas viene á parar á la circunferencia, y la otra al minutero.

M. Paul Garnier emplea en su sistema las corrientes derivadas para mover varios relojes, de manera que la corriente no pasa sucesivamente de uno á otro, sino que se divide, por decirlo así, entre todos proporcionalmente á su poder conductor; de esa manera uno de ellos puede descomponerse, y aun dejar de marchar, sin que los otros cesen por eso de indicar la hora con regularidad. La figura 164 da una idea de este sistema, en que el circúito de cada reloj $a\,b$, $a'\,b'$, $a''\,b''$ viene á parar á lo que él llama dos arterias eléctricas $A\,B$, $C\,D$, sin que eso impida que cuando se quiera se derive un circúito $c\,d$ de las ramas $a''\,b''$ de otro secundario.

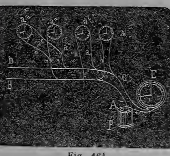


Fig. 164.

Una disposicion diferente ha adoptado el famoso prestidi-

gitador Robert Houdin para hacer obrar la corriente sobre cada reloj con todo el poder que tendria si estuviera solo, aunque la série de ellos sea muy grande. Para conseguirlo, uno de los polos de la pila comunica con un alambre en contacto con uno de los extremos de la espiral de cada electro-iman que hace marchar su reloj; el otro polo comunica con la rueda de clavijas del regulador ó péndulo, que establece é interrumpe la corriente; pero el mecanismo está dispuesto de modo que el circúito no se establece sino en el primer reloj, y cuando la armadura del electro-iman es atraida, la corriente se interrumpe en él; pero se establece el circúito por el segundo reloj; el mecanismo de este es igual al del primero, y por consiguiente, sucede en él lo mismo, y pasa la corriente al tercero.

Le sugirió esta idea la necesidad de hacer dar las horas en un número indefinido de relojes; sin ella fe hubiera sido preciso emplear corrientes mas fuertes.

Ya que hablamos de las invenciones de Robert Houdin, no es posible dejar de mencionar la de mas importancia tal vez que se ha hecho en las piezas de trasmision de la relojería y telegrafía eléctrica : nos referimos á su *repartidor eléctrico*. Es (figura 165) una combinacion de palancas curvas, que giran al rededor de centros fijos, y sus longitudes eficaces, determinadas por los puntos de contacto ó de tangencia, son necesariamente variables. Cuando pasa la corriente por el electro-iman E la armadura H es atraida, y en vez de obrar directamente sobre la resistencia R, como en la disposicion ordinaria, con una fuerza desigual que va creciendo á medida que la

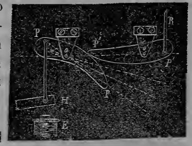


Fig. 165.

armadura se acerca, y que es, por consiguiente, mas débil al empezar, cuando se necesitaria mayor para vencer la inercia de R; en vez de obrar directamente, decimos, lo hace por

medio del repartidor, y como se ve en la figura, al comenzar, la potencia obra sobre el brazo de palanca mas largo, y este se va acortando á medida que baja la armadura, y es mas fuerte por consiguiente la atraccion. De la misma manera, cuando cesa de pasar la corriente, el mecanismo aplicado á *R* tiene que empezar por vencer la adherencia de la armadura por efecto del magnetismo remanente; pero el repartidor eléctrico se lo facilita, porque las palancas se presentan en la posicion mas favorable, y el brazo va disminuyendo á medida que la armadura se va separando.

M. Bain hace marchar tambien sucesivamente varios relojes eléctricos por medio de un reloj tipo, como Robert Houdin; pero hace obrar aislada y alternativamente la corriente sobre cada electro-iman desde el mismo reloj tipo, adaptando á este un interruptor como el que hemos visto en el sistema Du Moncel; la aguja recorre en un minuto toda la circunferencia del interruptor; de suerte que en este intervalo se obtiene la hora en todos los relojes, sin que pueda pasar de un minuto la diferencia entre los dos que vayan menos acordes.

Ha conseguido tambien M. Bain regularizar de hora en hora cierto número de relojes por medio de un solo regulador, que no establece la corriente sino en el último segundo de la hora del reloj tipo, de suerte que todo retraso ó adelanto queda corregido.

Du Moncel ha presentado á la Academia de Ciencias de Paris una nota, que no conocemos bien, sobre un nuevo sistema, en que los relojes se arreglan por la marcha del sol. Segun parece, se ha propuesto evitar el inconveniente que tiene el sistema de Bain de necesitar un reloj tipo muy costoso, y emplea en su lugar la accion de un lente, que forma parte de un reloj de sol, sobre un termómetro cuya columna metálica cierra un circúito eléctrico, al subir dilatada por el calor del lente, que no puede herirlo sino á una hora dada. Creemos esta invencion mas curiosa que útil.

Otro problema, tambien curioso, de relojería es el calen-

dario perpétuo electro-magnético, que describe en sus aplicaciones de la electricidad.

M. Gloesener ha propuesto y construido, con ayuda de Mr. Tinsington, relojes eléctricos sin pila, que marchan por la corriente inducida de una máquina magneto-eléctrica, puesta en movimiento por un reloj tipo. En estos aparatos, como en los que ha hecho marchar por medio de pilas, M. Gloesener ha aplicado su sistema de inversion de corrientes y doble escape, en vez de la simple interrupcion que exige el empleo de resortes de reaccion; sistema que como dirémos al hablar de sus telégrafos, puede tener un porvenir inmenso en las aplicaciones de la electricidad, y de que empiezan ya á aprovecharse algunos constructores, aunque sin confesar que deben la idea al distinguido profesor de Lieja.

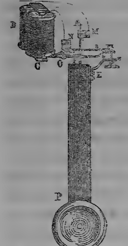
Relojes electro-magnéticos.

Estos relojes difieren de los llamados electro-cronométricos en que marchan por la accion de la fuerza electro-motriz solamente, sin auxilio de un reloj tipo, que establezca é interrumpa el circúito; son mucho mas sencillos, pero algunos constructores desconfian de su regularidad. No entrarémos á analizar esta cuestion, que como ya hemos dicho, solo la práctica puede resolver, ni nos detendrémos tampoco en describir cada uno de los infinitos sistemas que se han presentado para hacer mover la péndola ó volante del reloj, de manera que la marcha de las agujas sea perfectamente regular. Describirémos uno de los mas sencillos, y harémos conocer las diferencias esenciales en los mas usados ó ingeniosos.

Los aparatos primitivos se construian de manera que la péndola del reloj tenia un electro-iman, que por su accion sobre armaduras exteriores se mantenia en movimiento, y Mr. Bain construyó así su primer reloj en 1840.

M. Froment ha propuesto la disposicion siguiente (figu-

ra 166): *P* es un péndulo, suspendido por un resorte *A B* á una pieza de cobre fija *M*, puede oscilar libremente, y tiene un apéndice *E n*, terminado por un tornillo *n*, que se puede subir ó bajar. Una piececita de cobre *m*, fija á la extremidad de un brazo de palanca *N a m*, móvil al rededor de un centro fijo *N*, puede caer á intervalos iguales sobre la punta del tornillo *n*, y comunica entonces al péndulo *P* una impulsion que le compensa la pérdida de movimiento.


Fig. 166.

Se consigue esto con la adicion de un electro-iman *D*, que obra sobre una armadura de hierro dulce *C;* esta armadura está en el extremo de uno de los brazos de la palanca *b o C*, movible al rededor del punto fijo *o*, y el otro extremo *b* viene á sostener la palanca *N a m*. El brazo de palanca *o b* tiene una abertura en *F*, que deja pasar libremente el resorte que sostiene la péndola, y como el objeto es no estorbar el movimiento de esta, podria obtenerse el mismo resultado haciendo la abertura en el resorte para que pasara la palanca.

La corriente eléctrica que circula en el electro-iman pasa por la palanca *N a m* por la pieza *m*, el tornillo *n*, y el apéndice *n E;* por medio de un alambre *c f* pasa despues al resorte *B A*, y llega á la plancha de cobre *M*. Se comprende que si la péndola está en movimiento y en la mitad de la oscilacion que le hace subir á la derecha del observador, la masa *m* y el tornillo *n* están en contacto y cierran el circúito; el electro-iman atrae la armadura *C*, la masa *m* deja de ser sostenida, y obra por su peso sobre la péndola, comunicándole una impulsion en sentido contrario. Cuando la péndola sube del otro lado, *m* y *n* no están en contacto; el electro-iman no tiene accion, la armadura de hierro *C* cae, y la masa *m* sube á ocupar su primera posicion. Este efecto se reproduce en cada oscilacion,

por consiguiente la accion del peso *m* compensa la cantidad de movimiento que le hacen perder al péndulo la resistencia del aire, el rozamiento y la adherencia; y el reloj marcha con regularidad mientras la corriente sea bastante fuerte para levantar la armadura del electro-iman.

Este aparato, que es uno de los mas perfectos que se han presentado en la exposicion de 1855, tiene la ventaja de no exigir una corriente constante en intensidad; por consiguiente, si se coloca en una cueva donde la temperatura sea siempre igual, como lo ha propuesto M. Faye, ó si el péndulo es de compensacion, podrá servir de cronómetro. Puede marchar con un simple elemento de Daniell ó con una corriente telúrica, obtenida por medio de dos chapas, una de zinc y otra de cobre, enterradas á cierta profundidad.

Mr. Weare, relojero inglés, ha empleado entre otros sistemas, uno en que suprime la péndola, y un volante montado sobre un eje hace sus veces; en el mismo eje hay una aguja rodeada por un cuadro galvanométrico, de suerte que el paso de la corriente por este marco produce un movimiento en la aguja que arrastra consigo el volante; una barra metálica atravesada en la aguja sirve para establecer é interrumpir la corriente.

M. Liais, que como Mr. Weare ha construido relojes análogos á los mencionados de Bain, tiene tambien otro sin péndola, que llama cronómetro-eléctrico, y que puede aplicarse á la marina y á todos los casos en que la accion de la gravedad no es utilizable. Difiere del de Mr. Weare en que no emplea un galvanómetro, cuyo efecto mecánico es siempre débil, sino las reacciones magnéticas, mucho mas fuertes, de los electro-imanes.

Fundado en el mismo principio que el de Froment que hemos descrito, M. Brisebarre ha construido un reloj en que la péndola se mantiene en movimiento por el impulso que le trasmite una palanca en relacion con la armadura de un electro-iman.

Enteramente semejante, segun parece, á otro de M. Liais, que le ha precedido, M. Verité ha construido un reloj eléctrico, adoptando un escape de su invencion, que tiene, entre otras ventajas, la de disminuir extraordinariamente el rozamiento, de manera que ha podido hacer andar su reloj, durante un año, con un solo elemento de gran superficie, sin tener que renovar esta.

En una nota dirigida á la Academia de Ciencias de Bruselas, M. Jaspar, constructor de Lieja, propone varias disposiciones, algunas de las cuales hemos dado á conocer ya, como el empleo de corrientes alternativas, y la de hacer independientes unos de otros los relojes en cuanto á la marcha de la corriente, como lo ha realizado M. Garnier, no sabemos si con derecho á la prioridad. M. Jaspar recomienda el uso de un *reloj registro* ó *comprobante*, inmediato al regulador ó tipo, en el cual la resistencia que encuentre la corriente sea mayor que en los otros relojes; de ese modo, si la pila se debilita será el primero que se pare, y podrá reforzarse antes de que los demás se paren tambien, sin tener que hacer para ello observaciones con la brújula.

Robert Houdin, cuyas ingeniosas invenciones en los relojes electro-cronométricos hemos dado á conocer, las ha aplicado tambien á los relojes electro-magnéticos propiamente dichos, y ha hecho en estos verdaderas maravillas de mecánica. Ha presentado, entre otras, en la exposicion de 1855 un aparato á que da el nombre de *reloj eléctrico-popular*, en el cual ha simplificado de tal manera el mecanismo, perfeccionándolo y sustrayéndolo al mismo tiempo de la influencia de la variacion de las corrientes, que M. Detouche, cuyos talleres dirige Robert Houdin, da por sesenta francos un reloj eléctrico excelente. El mecanismo para mantener el movimiento difiere del de Froment, en que es un resorte el que apoya sobre un apéndice de la péndola, y otro apéndice establece é interrumpe la corriente; el resorte obra y deja de obrar por la accion de un electro-iman, cuya armadura está

en relacion con un sistema de palancas muy bien dispuesto.

M. Paul Garnier ha construido un reloj electro-magnético en que utiliza el mecanismo que los relojeros emplean con objeto de sustraer el péndulo á las variaciones causadas por el motor, por el rozamiento de los órganos entre sí y por la mayor ó menor fluidez de los aceites. La obra de Becquerel, padre é hijo, contiene una descripcion completa de este aparato. Aunque con una disposicion diferente de la de los primitivos relojes eléctricos, M. Regnard ha propuesto un sistema en que el electro-iman, independiente de la péndola, obra sobre la armadura que se halla en el vástago de esta. La misma disposicion, con las modificaciones indispensables, emplea para utilizar el doble escape de que se hace mencion al hablar de su telégrafo.

En fin M. Gerard, relojero de Lieja, ha expuesto últimamente en Bruselas un péndulo electro-motor, como él lo llama, que hace las veces de reloj tipo. Se ha propuesto en su construccion evitar que el aparato de contacto se halle en el reloj, y cae por consiguiente en el sistema que los otros constructores habian abandonado; su aparato tiene una disposicion ingeniosa para establecer el contacto de los dos polos de la pila, y esta no carece de originalidad, como ha podido verse en el capítulo II, donde la hemos descrito.

No siéndonos posible dar cuenta de los demás sistemas propuestos por los constructores franceses, alemanes é ingleses, entre los cuales merecen particular mencion Mouilleron, Grasset, Steinheil, Fardely, Stohrer, Scholle, Siemens y Locke, recomendamos la lectura de los capítulos que dedican á la relojería eléctrica Du Moncel, en sus *Aplicaciones de la electricidad*, y Schellen, en su *Tratado de la telegrafía eléctrica.*

Terminarémos la parte relativa á la relojería eléctrica anunciando que la idea que tuvo M. Nollet, antes que nadie, de aplicar la relojería eléctrica á señalar la hora en las calles de las poblaciones, estableciendo sus relojes en los faroles, va generalizándose, y pronto verémos dispuesto este servicio,

como lo está hoy el alumbrado de gas, no solo para la via pública, sino para las casas particulares, adonde podrá mandarse la hora por un tanto, como se manda hoy el agua y la luz. Ya Breguet y Destouches han puesto algunos relojes en los faroles de Paris, y el ayuntamiento de Marsella tenia destinados 22,000 francos para ponerlos en toda la ciudad; segun el plan aprobado, seria menester un alambre conductor de 40 kilómetros, y no costaria al año la conservacion mas que unos 2,000 francos.

Péndulo de movimiento continuo de M. Franchot.

En el experimento de M. Foucault para demostrar el movimiento de rotacion de la tierra por medio del giroscopo, era conveniente que el péndulo oscilara indefinidamente, y no era posible hacerlo como en los relojes eléctricos. M. Franchot, sin embargo, ha resuelto el problema por medio de la electricidad, fundado en el principio de que se valen instintivamente los niños cuando se repliegan sobre sí mismos en cada oscilacion para acelerar el movimiento del columpio; es decir, valiéndose de una série de atracciones verticales, ejercidas en tiempo oportuno sobre una plancha circular de hierro fija al vástago del péndulo y á un resorte en espiral, de donde está suspendido aquel por consiguiente. Este sistema presentaba algunos inconvenientes, que han hecho desaparecer el mismo M. Foucault y Froment, introduciendo varias modificaciones importantes en la idea de M. Franchot.

Avisadores ó campanillas eléctricas.

Estos aparatos, empleados antes que nadie por Wheatstone, son del mayor interés en la aplicacion de la electricidad á los caminos de hierro; darémos pues la descripcion circunstanciada de los dos sistemas que ofrecen mas importancia hoy dia: el de Breguet, ó sea el de Wheatstone perfeccionado, y el de M. Mirand, notable por la sencillez de su mecanismo, que lo hace aplicable á los usos domésticos.

Aparato avisador de Breguet. Consiste en un rodaje movido por un resorte encerrado en un *barrilete* que hace dar vueltas á un excéntrico *E* (figura 167), y este por medio de la biela *B*, hace oscilar un martillo, que golpea en la campana *T*.

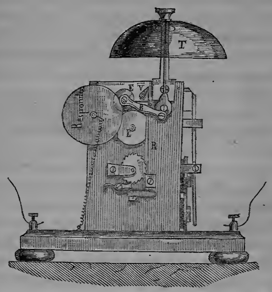


Fig. 167.

El eje del excéntrico tiene en su prolongacion un brazo *b*, que viene á interponerse en la muesca *e*, hecha en un resorte de reloj *R*, que no deja marchar el rodaje. Cuando este se halla en movimiento, un segundo excéntrico *E'* mantiene separado el resorte *R* para que el brazo del primer excéntrico pueda ejecutar cierto número de vueltas y el martillo dé otros tantos golpes en la campana; dos secciones dadas al excéntrico *E'*, segun lo presenta la figura, son las que le hacen dar este nombre y permiten al resorte *R* que ocupe su posicion normal, en cuyo caso el brazo *b* se ve detenido por él. Además de este excéntrico, hay una pieza de cobre *U*, pegada al resorte *R*, que segun se baja ó se levanta, separa el resorte del brazo *b* ó lo deja en contacto con él; está al extremo de un eje que lleva dos palancas, la una que permite traer con la

mano el resorte R á su posicion de contacto con b; y la otra, que no se ve tampoco en la figura, está en relacion con la armadura de un electro-iman y un resorte en espiral. Cuando la armadura es atraida por el paso de la corriente deja en libertad la segunda palanca, que obedece á la accion del resorte; la pieza V baja, separa el resorte R del brazo b, y el rodaje y el martillo marchan mientras siga pasando la corriente, á menos que el empleado no quiera hacerlo parar restableciendo el contacto del resorte R con el brazo b, por medio de la primera palanca.

Hay además en el aparato una planchita ó tarjeton, que queda en libertad cuando es atraida la armadura, y aparece con un letrero que dice *responded;* sirve para que el empleado sepa si ha sido llamado estando fuera de la estacion.

Sistema de M. Mirand. Este sistema, cuyo principal mérito es el de la sencillez y baratura, tiene la ventaja de no exigir mecanismo de relojería; no hay que darle cuerda para que marche, y es por consiguiente mas seguro, pues basta que el circúito se halle establecido para que funcione: esta circunstancia permite servirse de los llamadores de M. Mirand como de telégrafos portátiles, en que la sucesion de los golpes puede indicar palabras ó frases.

El aparato consta de un timbre ó campanilla con su martillo, movido directamente por la accion del electro-iman B B (figura 168), por cuya armadura pasa la corriente, como en el martillo del aparato de Ruhmkorff. La armadura C, cuya posicion es vertical, está fija á una lámina ó resorte de acero D, que tiende á separarla de los hierros del electro-iman, haciéndola apoyar por el extremo opuesto sobre otro resorte E, de menos fuerza que el primero; por este resorte es por donde se establece el circúito que pasa por la armadura. Se comprende que en el momento en que fuera del aparato se cierre el circúito, el electro-iman B atrae la armadura y el martillo da un golpe en la campana; pero la armadura al separarse del resorte E interrumpe la corriente, cesa la atraccion, y vuelve

por consiguiente á ponerse en contacto con *E* para cerrar de nuevo el circúito.

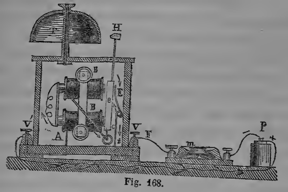


Fig. 168.

El manipulador para establecer la corriente fuera del aparato, es decir, en todos los puntos desde donde se quiere llamar, consiste en un disco de madera de algunos centímetros de diámetro, en medio del cual hay un boton de marfil *m*. Apoyando el dedo sobre el boton, se determina el contacto de dos hojas de laton encerradas en el disco y que se hallan separadas por su elasticidad natural; estando cada hoja unida á un extremo de la interrupcion del conductor, el circúito se establece y marcha el aparato. Cuando no se hace mas que apoyar el dedo, el martillo da un solo golpe; pero si se mantiene cierto tiempo, hay un verdadero repique, efecto de las rápidas interrupciones que ocasiona la armadura atraida por el electro-iman.

Cuando el servicio á que se aplica este aparato lo exige, una disposicion particular permite que el que recibe la comunicacion dé la respuesta, ó haga saber al menos que la ha recibido; y eso con la simple adicion de un electro-iman pequeño en el manipulador, que hace aparecer en una ventanilla la palabra *entendido* cuando se toca el boton de un segundo manipulador que se añade al aparato en que está la campanilla.

M. Mirand propone además otras varias modificaciones para

aplicar su avisador eléctrico á los establecimientos en que sea preciso llamar de diferentes puntos y dejar la indicacion del que ha llamado; lo propone tambien para la trasmision de órdenes en un buque, en un tren de camino de hierro y para otros muchos casos, en que puede ser realmente de gran utilidad y de fácil instalacion.

El avisador de Dumoulin difiere del de Mirand en que aquel ha empleado dos electro-imanes, y sus armaduras están en relacion con un sistema de palancas semejantes al repartidor eléctrico de Robert Houdin, explicado en la pág. 425; el vástago del martillo se halla unido al sistema de palancas, de suerte que como la fuerza electro-magnética se aprovecha en toda su intensidad, hiere con una violencia extraordinaria, á la par que con rapidez, la campana que sirve de señal.

M. Froment ha construido avisadores de esta especie en que el martillo no da mas que un golpe seco, como los timbres que se usan en los despachos y en algunos sistemas de campanillas mecánicas. M. Paul Garnier y Robert Houdin tienen tambien sus llamadores eléctricos, y se valen del mismo artificio que en los relojes para reproducir el aviso en varios puntos á la vez.

Du Moncel, que ha querido resolver por sí mismo cuantos problemas de aplicacion de la electricidad se han propuesto, lo ha resuelto tambien para llamadores ó repiques, y los adapta á un reloj ordinario, de manera que el martillo de la campana de este sirva de comunicador, y dé por sí mismo la señal de descanso en las diferentes salas de trabajo de una gran fábrica, ó bien indique la hora en varias habitaciones de una casa donde no haya mas que un reloj. La pila de sulfato de cobre es la que se emplea en estos aparatos.

No menos ingeniosas que estas son otras aplicaciones que se han hecho de las campanillas ó avisadores eléctricos: tal es por ejemplo la de que los relojes hagan una señal cuando es ya necesario darles cuerda; efecto que no es difícil concebir cómo se consigue. Basta añadir un piñon al eje del barrilete

del reloj, que engrana con una rueda cuyo diámetro está en relacion con el número de vueltas que hay que darle á aquel para que tenga toda la cuerda; un frotador que lleva la rueda y apoya en una plancha de marfil con una laminita metálica, cierra el circúito eléctrico y hace sonar el avisador.

Para obtener automáticamente el aviso de que en una pila ó batería voltáica ha disminuido la intensidad y es menester renovar los líquidos, puede emplearse un avisador eléctrico. El efecto se obtiene haciendo pasar la corriente por un galvanómetro en cuya aguja se fija otra de cobre perpendicular á ella, que venga á tropezar en una pieza metálica fija en el ángulo correspondiente al grado mínimo que debe tener la corriente; poniendo la pieza y la aguja en relacion con un circúito local, en que se halle el avisador, se cerrará tan luego como la aguja toque la pieza. Du Moncel lo consigue con la misma pila que necesita renovarse, tomando las precauciones convenientes.

En cuanto á la aplicacion de las campanillas eléctricas á los usos domésticos, para que no pueda abrirse una puerta sin avisar, á la distancia que se quiera, y para otros casos semejantes, es inútil que nos detengamos mas; basta con las ideas generales emitidas para comprender cuán fácil seria aplicarlas á un sinnúmero de ellos. Moigno y Du Moncel reproducen en sus respectivas obras un fragmento de la de Walker, con una larga lista de aplicaciones, entre las cuales vemos figurar, y no nos atrevemos á tomar en consideracion, por no extendernos demasiado, las que se han propuesto para las operaciones geodésicas y militares, para los incendios y para comunicarse á bordo de los inmensos buques que se construyen actualmente, donde serian impotentes todos los medios acústicos que se conocen. Tal vez si se hubiese combinado un buen sistema de órdenes trasmitidas eléctricamente, no se hubiera desgraciado la difícil operacion de lanzar al agua el *Leviathan*, ese vapor colosal que todo el mundo ha admirado en las orillas del Támesis.

Cronóscopos y cronógrafos eléctricos.

Aunque estos aparatos son, como los relojes, unos verdaderos cronómetros, y pudieran llamarse así, porque sirven para medir el tiempo, se distinguen de ellos en que se aplican á la medicion de un intervalo de tiempo sumamente corto, como cuando se quiere verificar la prontitud en la inflamacion de las sustancias explosibles, la caida de los graves, la velocidad de los proyectiles, etc. La mayor dificultad en esos casos no consiste en la apreciacion del tiempo infinitamente corto, sino en fijar el momento en que debe empezar y concluir la observacion; porque nuestros órganos no son capaces de ello. La electricidad, con sus maravillosos recursos, ha venido á hacer las veces de ese órgano sensible que nos falta, y Wheatstone, á quien tantas veces hemos visto á la cabeza de los que han hecho aplicaciones útiles de la electricidad, es tambien el primero que inscribe su nombre en la ejecucion del cronóscopo eléctrico.

Este aparato, inventado por el sábio inglés en 1840, se compone de un mecanismo de relojería, con una aguja que marca en un círculo dividido, el instante en que una rueda de dientes, movida por un peso, se detiene por la accion de una áncora de escape. Esta áncora, segun sea ó no solicitada por la accion atractiva de un electro-iman, deja ó nó libre el movimiento de la aguja; la duracion de la corriente, y por consiguiente, la del intervalo de tiempo que se quiere queda indicado por el arco descrito. Es fácil comprender cómo en cada uno de los casos que se presenten, por ejemplo, el de un proyectil lanzado, podrá hacerse que se establezca un circúito al salir la bala, y se interrumpa al llegar al blanco, ó vice-versa.

Breguet, que ha querido disputar á Wheatstone la prioridad de esta invencion, construyó en 1843 otro cronóscopo mas perfecto, pero tan complicado, que su uso no ha podido generalizarse.

Pouillet en 1844 hizo construir tambien su cronóscopo, fundado en un principio de difícil aplicacion; tal es el de que la desviacion de la aguja de un galvanómetro es proporcional, no solo á la intensidad de la corriente, sino tambien á su duracion.

M. Martin de Brettes ha propuesto varios sistemas muy ingeniosos, entre otros, uno bastante sencillo, que puede aplicarse con ventaja á la apreciacion de intervalos muy cortos; consiste principalmente en un cronómetro dispuesto de manera, que la presion ejercida sobre un boton exterior, se trasmite instantáneamente á una aguja que marca un punto negro sobre un círculo dividido.

Mas sencillo aun es el cronóscopo construido por M. Breton, que se ha aplicado á la verificacion de la caida de los graves, sustituyendo ventajosamente la máquina de Atwood. Esta idea, sin embargo, no pertenece exclusivamente á los hermanos Breton, porque ya antes habia sido puesta en ejecucion por M. Hip de Berna, valiéndose del cronóscopo de Wheatstone, perfeccionado admirablemente, segun la opinion del mismo Wheatstone, que lo considera muy exacto despues de las modificaciones del entendido suizo.

Ninguno de los aparatos que hemos mencionado puede, sin embargo, competir con el del capitan de artillería belga M. Navez, y el del célebre Siemens, que tantas veces tenemos que citar, y que reclama la prioridad de la concepcion y de la ejecucion de la idea de aplicar la electricidad para esta clase de aparatos.

El del capitan Navez, compuesto de tres partes, es demasiado complicado para que nos detengamos en hacer su descripcion, que puede verse en el tratado de electricidad de Becquerel. Un péndulo, que queda en libertad al partir el proyectil, arrastra en su movimiento una aguja con un nonius, que recorre un círculo graduado. La ruptura de dos circúitos eléctricos y el establecimiento de un tercero hacen marcar á la aguja cierto número de grados. Haciendo la observacion

dos veces, de modo que en la primera sea simultánea la ruptura de ambos circúitos, en la segunda media un intervalo en la ruptura verificada por el proyectil, y la diferencia entre los dos arcos descritos por la aguja es la que marca el tiempo que tarda el proyectil en llegar al blanco.

El cronóscopo de Siemens está fundado en el empleo de la electricidad estática; es decir, en la señal que deja la chispa eléctrica en un metal pulimentado, cuyo color varia segun su naturaleza. Supóngase un cilindro de acero, cuya superficie convexa se halle graduada, que gire sobre su eje con una velocidad conocida. Una punta metálica situada á corta distancia del cilindro formará con este parte de los circúitos de dos baterías de Leyden, interrumpidos en los dos puntos de la trayectoria del proyectil entre los cuales se quiere medir su velocidad. El proyectil, al atravesar la primera estacion, completa el circúito de la primera batería, y la chispa que salta entre la punta y el cilindro de acero deja en esta una marca. El cilindro continúa dando vueltas, y la bala, al completar el segundo circúito, provoca una segunda chispa, que se marca á cierta distancia de la primera; esta distancia, evaluada en grados, sirve como en los otros aparatos para determinar el tiempo trascurrido entre las dos chispas, y por consiguiente en el trayecto del proyectil, pues con la prodigiosa velocidad del flúido eléctrico pueden considerarse simultáneas la ruptura de los circúitos y la marca de las chispas.

A pesar de las ventajas evidentes de este sistema, tiene la dificultad de exigir un aislamiento mas perfecto en los conductores, y el de no poderse determinar con exactitud el centro de la mancha. Du Moncel cree que podrian evitarse esos inconvenientes, conservando las ventajas del aparato de Siemens, con un cronógrafo que llama electro-químico, aplicando el procedimiento del telégrafo de Bain, y obteniendo las señales sobre un papel preparado con el cianuro potásico.

El baron Wrede en Suecia, y Gloesener en Bélgica, han imaginado y ensayado cronóscopos en que se aprovecha la

inversion de las corrientes. El del último se compone de un tambor de aluminio, de 7 centímetros de longitud y 50 de circunferencia, dividida en mil partes iguales, que da dos vueltas por segundo y tiene un contador para indicar el número de vueltas. Un movimiento circular que le imprime un peso y regula un volante, le obliga á presentar todos los puntos de su circunferencia á varios punzones dispuestos de modo que correspondan todos con la misma division del tambor, y estén separados, cuando mas, de 2 á 3 milímetros unos de otros. Dichos punzones, empujados en un momento dado por una accion eléctrica, cuando el tambor está en movimiento, dejan en este una marca con el humo negro con que se habian untado de antemano. La novedad de este aparato está principalmente en invertir las corrientes para producir dos señales, y en contar el intervalo entre dos señales por la impulsion de dos punzones sucesivos, y no por el tiempo que trascurre desde que uno cae y marca, y despues se eleva y deja de marcar. Segun su autor se han evitado con este cronóscopo una multitud de inconvenientes que presentan los otros.

Aparatos registradores ó grafo-eléctricos.

Es necesario algunas veces apreciar velocidades, y marcar por medio de curvas ó puntos en un papel, la distancia recorrida por un carruaje, un navío, y sobre todo por un tren de camino de hierro en un tiempo dado. Estos aparatos, que unos llaman impropiamente *cronógrafos* y otros *tackómetros* ó *velocímetros*, varian mucho en su disposicion; algunos consisten principalmente en un cilindro revestido de papel, que gira con regularidad á impulso de un mecanismo de relojería, y en el cual un punzon ó lápiz va trazando puntos ó curvas, que segun la distancia á que se encuentran unos de otros, indican la mayor ó menor velocidad de la pieza ó aparato que está en relacion con el lápiz. Ya en 1840 habia propuesto Wheatstone la aplicacion de su cronóscopo á medir la

velocidad de los ejes de los motores; Breguet en 1845 lo hizo de su cronógrafo, y Du Moncel y Bain han propuesto aparatos en que la electricidad sirve de agente para medir la marcha de los buques y de los trenes.

El mismo vizconde Du Moncel se ha ocupado mucho, y ha dado en una memoria especial la descripcion detallada de otros aparatos destinados á medir y á marcar la velocidad del viento por medio de la electricidad. Los *anemómetros* y *anemógrafos eléctricos*, cuyo mecanismo no nos detendrémos á explicar, dan la direccion y la velocidad del viento en el gabinete mismo del observador, hallándose instalados en el tejado del edificio. Están fundados, como es fácil figurarse, en la notacion del número de vueltas que da un molinete de aspas puesto siempre por una veleta, en una posicion que reciba el choque del viento bajo el mismo ángulo. El autor ha instalado en el Observatorio Astronómico de Paris uno de estos aparatos, que no solo señala la marcha del viento, hora por hora y minuto por minuto, sino que hace, por decirlo así, las recapitulaciones mensuales tan necesarias para el cálculo de los términos medios meteorológicos; dicho anemómetro contiene además un pluviómetro anemométrico, que da la cantidad de lluvia que cae con cada viento.

M. Abria y M. Salleron han imaginado y construido tambien instrumentos de esta especie, que han merecido los elogios de personas entendidas, y tal vez ocupan ya un lugar en algunos observatorios de Europa.

Para generalizar los medios de observar la direccion é intensidad de los vientos, ha construido Du Moncel un *anemóscopo* que no es tan perfecto, pero que ofrece en cambio la ventaja de ser mucho mas económico y manuable que el anemómetro.

Ya antes que los citados, en 1843 Wheatstone habia aplicado la electricidad á la meteorologia, construyendo su *termómetro telégrafo*, que ejecutado despues en mayor escala, se llamó *registrador meteorológico*, y fué establecido en el obser-

vatorio de Kew. Este instrumento inscribe de cinco en cinco minutos todas las indicaciones del barómetro, termómetro y psycrómetro (que es una especie de higrómetro), sea cualquiera la distancia á que se halle el observador de los aparatos, ya se lancen en el espacio por medio de un globo sujeto, ya se sepulten á cierta profundidad en la tierra.

El aparato de Wheatstone consiste en hacer que la columna de mercurio forme parte de un circúito voltáico, con un hilo de platino que entra en el líquido metálico del tubo abierto, y sale en momentos determinados por la accion de un mecanismo de relojería; si la temperatura ó la presion de la atmósfera permanece igual, la interrupcion se hará siempre al cabo de cierto tiempo, pero se acelerará ó retardará si la columna sube ó baja por las influencias atmosféricas.

M. Liais ha construido tambien últimamente barómetros, termómetros y psycrómetros en que por medio de la electricidad se marcan las alturas máxima y mínima, juntamente con la hora en que esto tiene lugar; circunstancia importantísima para los que se ocupan en esta clase de observaciones. Estos aparatos, llamados por su autor *barometró-grafos*, *termometró-grafos* y *psycrometró-grafos*, se hallan descritos en la obra tantas veces citada del vizconde Du Moncel.

Este incansable físico ha querido remediar los inconvenientes que presenta el barómetro de Fortin por la variacion incesante del nivel del mercurio en la cubeta; para ello ha puesto el tornillo con que se rectifica el nivel en este instrumento, en relacion con un aparato electro-magnético, que permite hacer subir y bajar el tornillo y dejarlo en la posicion que debe tener, sin necesidad de mirar, porque un circúito establecido ó interrumpido en tiempo oportuno hace sonar un aparato avisador.

Para reunir cuanto tiene relacion con la electricidad aplicada á la meteorologia, citarémos aquí los últimos trabajos de M. Leverrier, que con un celo digno del mayor elogio ha conseguido establecer una red de observatorios en combi-

nacion unos con otros, y que por medio de la electricidad pueden hacer simultáneamente las observaciones: único modo de obtener resultados concluyentes y de sacar algun fruto de tan penosa como monótona tarea. Ya en los Estados-Unidos el telégrafo se ha anticipado á los terribles efectos de una tempestad y anunciado su direccion á un puerto lejano, han podido evitarse algunas desgracias que de otra manera hubieran sido irremediables, porque no hubiesen estado los buques preparados á recibirla; ¡cuánto partido podria sacarse de un sistema de avisos semejante, establecido con regularidad en diferentes puntos del globo!

Darémos fin á la parte que tiene relacion con los aparatos registradores, citando solo algunos para hacer ver la multiplicidad de las aplicaciones de esta ciencia nacida ayer. El *magnetómetro eléctrico* de Weber, por medio del cual ha podido conseguirse una cosa imposible hasta su aparicion, que es medir con exactitud simultáneamente la accion eléctrica de las componentes verticales y horizontales del magnetismo terrestre; el *fotómetro eléctrico* de Masson, que sirve para medir exactamente las intensidades luminosas, ya provengan directamente de focos luminosos, ya de la reflexion ó de la refraccion de los rayos emanados de dichos focos; consiguiéndose además lo que no era posible obtener con los fotómetros anteriormente conocidos, que es aplicarlo á las luces coloreadas, y obtener así su término de comparacion, al cual se pueden referir las diversas intensidades luminosas que se observan; el *actinómetro eléctrico de Becquerel*, para manifestar las corrientes eléctricas debidas á la accion química de la luz; y por último el *esferómetro*, segun lo llama su autor Du Moncel, por medio del cual se pueden apreciar espesores infinitamente pequeños.

La astronomía está llamada tambien á sacar un partido inmenso de la electricidad, como lo demuestran algunas de las aplicaciones que se han hecho ya. Se sabe que la longitud

de un punto del globo con relacion á otro se determina por la diferencia de la hora en que pasa el sol ú otro astro fijo por el meridiano de ambos puntos. Es fácil comprender la diferencia inmensa en cuanto á la exactitud, seguridad y prontitud que habrá en emplear en la determinacion un cronómetro arreglado al tiempo verdadero del lugar que se deja, y que se compara con el del lugar en que se observa, ó valerse de las líneas telegráficas establecidas, que permiten indicar instantáneamente de un punto al otro el momento de la observacion, es decir, del paso de la estrella determinada. En América se utiliza este sistema hace ya algunos años; posteriormente la Europa ha seguido su ejemplo, relacionando entre sí los observatorios de Greenwich, Edimburgo, Bruselas y Paris.

La ventaja de aplicar la electricidad á la astronómía no se manifiesta solo en los casos en que hay que relacionar puntos lejanos como el que acabamos de citar, y al cual pudiéramos añadir la aplicacion que se ha hecho en Inglaterra para trasmitir el tiempo medio á diferentes puntos, sobre todo á los marítimos, como si cada uno estuviese provisto de un observatorio con su cronómetro regulado por la marcha de los astros. La astronomía puede sacar tambien partido de la electricidad en el observatorio mismo, como lo demuestra el *aparato de M. Bond para registrar las observaciones astronómicas.* Consiste, como la mayor parte de esta clase de aparatos, en un cilindro cubierto con una hoja de papel, que da una vuelta por minuto; al mismo tiempo que avanza sobre su eje, un lápiz ó un punzon traza en él una série de puntos en espiral, que se van fijando á medida que van pasando los astros por la cerda del anteojo. El observador no necesita mas que apoyar el dedo en el interruptor, sin separar la vista de su instrumento.

Citarémos, por último, como una de las mas curiosas aplicaciones que se han hecho de la electricidad á la astronomía, la que con auxilio tambien de la fotografía, propuso

M. Liais para resolver uno de los problemas mas difíciles que pueden presentarse: el de determinar la trayectoria de los bólides, marcando todas las variaciones de su movimiento angular. El método consiste en emplear dos daguerreotipos dispuestos de manera, que por medio de la electricidad puedan abrirse simultáneamente en una fraccion de segundo; si las planchas de uno de los daguerreotipos es fija y la del otro gira con un movimiento regular y conocido al rededor de su eje, es indudable que el bólide, al pasar por el campo de ambos instrumentos, trazará en las dos planchas líneas diferentes, cuya comparacion permitirá fácilmente medir su velocidad angular en diversos momentos; y si la plancha fija se ha orientado con cuidado, podrá deducirse de la señal trazada en ella por el meteoro, la posicion del plano que pasa por el centro del objetivo y la trayectoria aparente. Con varios daguerreotipos se abrazaria un campo mas vasto en el cielo, y la electricidad solo es capaz de hacerlos funcionar simultáneamente.

Electro-motores.

Los prodigiosos efectos de la imantacion temporal del hierro, la fuerza de atraccion inmensa que pierde y adquiere un electro-iman por la simple interrupcion ó establecimiento de un circúito eléctrico, debia excitar la idea de aprovechar como motor una fuerza tan fácilmente desarrollada; y en efecto, pocos problemas han llamado tanto la atencion en los últimos años, y pocas veces se ha desplegado una fecundidad de imaginacion tan grande como la que han manifestado los constructores con ese objeto. Desgraciadamente la solucion del problema, como dice uno de los que mas lo han estudiado, M. Du Moncel, no estriba en la perfeccion de las combinaciones mecánicas, sino en la eliminacion de los inconvenientes inherentes á la fuerza electro-motriz misma; inconvenientes tan complexos, tan contradictorios, que

casi puede decirse que los motores que mejor funcionan en pequeño son los que peores resultados dan en grande. Otro físico eminente, M. Jacobi, el primero que construyó un electro-motor de cierta fuerza, ha deducido de sus numerosas investigaciones, que con los generadores eléctricos que poseemos, y en el estado actual de nuestros conocimientos sobre la electricidad y el magnetismo, el efecto mecánico ó el trabajo que pueden producir las fuerzas eléctricas es muy inferior al de los demás motores que se usan generalmente; pero creemos, con Becquerel, que dicha conclusion, así como la opinion emitida por Du Moncel, no es una condenacion absoluta, y la electricidad, en su infancia por decirlo así, ha creado tantas maravillas, que no es imposible que dé algun dia los medios de hacer electro-motores poderosos.

Los aparatos de esta especie que se han construido hasta ahora pueden dividirse en dos grandes clases, segun su manera de funcionar, ya sea por un movimiento de rotacion directo, ya por un movimiento oscilatorio, que se transforma despues en circular continuo, como en las máquinas de vapor. Du Moncel hace otra clasificacion mas científica, segun el estado en que se manifiesta la accion eléctrica, cuya clasificacion y detalles pueden verse en una memoria especial que ha publicado sobre electro-motores, en 1852, y en su tratado mas moderno sobre las aplicaciones de la electricidad; indicarémos, no obstante, los trabajos mas notables que se han hecho para emplear la electricidad como fuerza motriz.

Entre los *electro-motores fundados en las reacciones recíprocas de las corrientes eléctricas ó magnéticas*, pueden citarse, además del aparato de Faraday para la rotacion de los imanes, el interruptor de De La-Rive, las pilas de Zamboni, y otra multitud de instrumentos que no producen una fuerza apreciable, el *electro-motor de hélices oscilantes* de Du Moncel, que ha funcionado en la sala de la Academia de Ciencias de Paris, y consiste pricipalmente en un cilindro de

hierro, atraido alternativamente por dos hélices de induccion, en que el mismo cilindro de hierro distribuye la corriente con oportunidad. Tambien ha construido Du Moncel otro electro-iman con una sola espiral, fundado en la atraccion de dos corrientes eléctricas que marchan en el mismo sentido, y en su repulsion cuando marchan en sentido contrario.

Entre los *motores fundados en las reacciones recíprocas de los imanes temporales y permanentes*, debe citarse con preferencia á cualquier otro, el electro-motor de Ritchie, porque segun parece, es el primero en que se ha tratado de economizar la fuerza eléctrica, por medio de los imanes permanentes, que obrando sobre los electro-imanes convenientemente dispuestos, les comunica un movimiento de rotacion continuo.

Mr. Weare ha realizado tambien el mismo principio en uno de sus sistemas de relojes. Y M. Jacobi, segun hemos dicho ya, construyó en 1834 un aparato fundado en la reaccion de un electro iman sobre otro, segun la direccion de las corrientes, que hace cambiar el nombre del polo. Este aparato, que era de rotacion directa y de la fuerza de $^{3}/_{4}$ de caballo, pudo en 1838 hacer subir por el Neva una chalupa que contenia doce personas.

Los motores eléctricos, fundados en la atraccion del hierro por los electro-imanes, son los que mas variedad han presentado en sus formas y mas han ocupado á los constructores. M. Froment ha hecho algunos de movimiento alternativo, de simple y de doble efecto, y con dos manubrios ó cigüeñas, que producen un movimiento análogo al de las máquinas de los barcos de vapor. Estos aparatos consisten en una armadura que es atraida y repelida alternativamente por un electro-iman, y que comunica su movimiento á un volante en que se halla el conmutador ó interruptor de la corriente.

El mismo M. Froment ha imaginado motores de movi-

miento directo, que tanto él como otros constructores han modificado al infinito; pero cualquiera que sea la disposicion mecánica que se les dé, todos se componen principalmente de una rueda armada de paletas de hierro, que pasan á corta distancia de los polos sencillos ó múltiples de varios electro-imanes tangentes á la rueda, y que recibèn la corriente sucesivamente, ya cada uno en particular, ya varios á la vez y por séries. El conmutador en ellos está siempre en relacion con la rueda. Este es el sistema segun el cual M. Froment ha construido los mayores aparatos de esta especie que se conocen, y el que ha establecido en sus talleres para mover los tornos de las máquinas de graduar; máquinas tan perfectas, que puede dividirse con ellas un milímetro en 1,000 partes iguales.

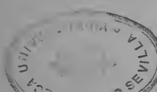
Los Sres. Breton, Bourbouze, Page y Froment han tratado de amplificar la fuerza electro-motriz, combinando las diferentes acciones dinámicas y estáticas á que da lugar; para ello han reunido la atraccion de las hélices á la atraccion de los electro-imanes, haciendo entrar en dos espirales de alambre metálico dos hierros dobles de electro-imanes, uno de los cuales es móvil y sirve de piston, obrando sobre un balancin por la transformacion del movimiento, exactamente como en una máquina de vapor. El primero construyó una locomotora electro-magnética pequeña, que marchaba con bastante velocidad en un camino de hierro circular; y el segundo una maquinita para subir agua, que funciona en el anfiteatro de física de la Sorbone, cuando se trata de esta materia.

Una comision, nombrada en la Exposicion Universal de 1855, hizo algunos experimentos interesantes para determinar el poder mecánico y el costo de algunos de los electro-motores presentados. Se eligieron cuatro, que permitianse les adaptase un freno dinamométrico. El primero, de Monsieur Larmenjeat, fundado en la atraccion ejercida por los electro-imanes sobre las armaduras fijas á una rueda; el se-

gundo, de M. Loiseau, análogo á la máquina de Jacobi, ya citada; el tercero, un aparato oscilante, imaginado por Monsieur Roux, en que las armaduras de hierro utilizan la accion magnética de los alambres de los electro-imanes, que M. Nickles llama trifurcados, y el cuarto, un aparato oscilante de los Sres. Fabre y Kunemann, compuesto de dos electro-imanes tubulares. El resultado de los experimentos no permite, como hemos indicado al principio, considerar los electro-motores como máquinas económicas, y capaces por lo tanto de sustituir á las que se usan actualmente, sino en casos muy especiales, como por ejemplo, el de las máquinas para graduar de Froment; no nos detendrémos pues en reconocer la larga lista de máquinas electro-motoras propuestas por una multitud de inventores, entre los cuales se cuentan nombres muy recomendables, como el de Becquerel hijo, Pulvermacher, y particularmente M. Marié-Davy, cuyo aparato ha merecido un informe brillante de Becquerel y una recompensa pecuniaria. No terminarémos, sin embargo, esta materia sin hacer mencion del *motor electro-químico* de M. Moeff, cuya base fundamental, dice su autor, «es la fuerza que resulta de la rarefaccion producida por la combinacion del hidrógeno y del oxígeno para formar agua; combinacion que se verifica bajo la influencia del contacto de un cuerpo en ignicion ó del paso de una chispa eléctrica; y habiendo adoptado este último medio, ha parecido conveniente darle el nombre de *motor electro-químico*.»

Aplicacion de la electricidad á la mecánica industrial.

Si la posibilidad de convertir la electricidad en fuerza motriz es una cuestion que tiene dividida la opinion de algunos físicos, la de la aplicacion de la electricidad como intermedio mecánico ha suscitado no menos vivos debates, sobre todo desde que el director de los telégrafos sardos, Gaetano Bonnelli, ha presentado su telar eléctrico, con la pretension, segun



algunos, de echar por tierra el sistema Jacquard, que hace tanto tiempo se emplea exclusivamente en los talleres. No nos es posible entrar en la descripcion de los medios que propone Bonnelli para resolver el problema, porque seria preciso entrar antes en la descripcion detallada de los telares mecánicos tal cual se usan hoy dia; baste decir que sustituye los cartones agujereados del sistema Jacquard por un cilindro metálico, cuya superficie se cubre con un papel, en que está recortado el dibujo, de manera que aparezca, por decirlo así, en una sustancia conductora; ó bien en vez del cilindro, un papel en que se hace el dibujo con hojas muy delgadas de estaño, que es el método que prefiere el autor. Dispuesto de esa manera, en vez del mecanismo que hoy se usa para levantar unos hilos y dejar otros, la electricidad es la que se encarga de hacerlo, segun estén ó no en contacto con la parte conductora del dibujo.

El problema está indudablemente resuelto, pues Bonnelli no solo ha construido su máquina, sino que ha presentado á la Academia de Ciencias de Paris muestras de telas tejidas con ella; la cuestion, por consiguiente, no consiste sino en averiguar si su sistema es mas económico que el de Jacquard.

Despues que Bonnelli ha propuesto su máquina de tejer, se han presentado varios modificándola, entre otros, los Señores Maumené, Mathieu, Pascal de Lyon y Ed. Gand. El mismo autor escribia hace poco tiempo al director del *Cosmos*, anunciándole que habia encontrado el medio de poder tejer las telas de varios colores, sin complicar su aparato y sin tener necesidad de emplear mas de un dibujo. Despues ha anunciado el mismo periódico que la casa Dolfus de Mulhouse se proponia aplicar en grande su sistema. No hay duda que ese será el mejor modo de responder á las infinitas objeciones que se le han hecho.

Tambien para los talleres, pero con un objeto menos general, ha hecho M. Peyrot otra aplicacion de la electricidad: el de la lanzadera electro-avisadora que hace sonar una cam-

panilla de señal cuando la traccion es bastante fuerte para poder romper el hilo.

No para avisar que va á romperse, sino para unir los dos pedazos rotos, ha propuesto M. Achard un mecanismo ingeniosísimo, que forma parte de una máquina para hilar los capullos de seda. Este mecanismo, que es un verdadero medio de trasmision ó comunicacion de movimiento, lo ha aplicado tambien su autor á evitar los accidentes en los caminos de hierro, haciendo funcionar por medio de él los frenos de un tren; mas adelante lo verémos descrito en todos sus detalles.

Como ejemplo de trasmision de movimiento, citarémos el medio de que se ha valido M. Nickles. Colocando al rededor de cuatro ruedas de hierro móviles, dos espirales fijas, que imantan en sentido contrario las partes de las ruedas que han de oponerse, se produce una adherencia entre cada par alternativamente, como si los dos sistemas estuviesen unidos por correas. Empleando esta disposicion ú otras semejantes, se ha propuesto tambien M. Nickles aumentar á voluntad la adherencia de las ruedas de las locomotoras, construir frenos para el servicio de los caminos de hierro y hacer trasmisiones de movimiento en toda especie de máquinas.

No terminariamos nunca si hubiéramos de enumerar una por una todas las aplicaciones de la electricidad á diferentes objetos; lo harémos única y rápidamente de algunas de ellas, que no pertenecen á ninguna de las clases que hemos mencionado hasta ahora, y que es imposible clasificar, porque su variedad lo impide.

Breguet ha propuesto recientemente el empleo de un *manómetro-eléctrico* que marca el grado de presion en las calderas de vapor y en las fábricas, haciendo partir un avisador de campana cuando la aguja al llegar al punto del cual no se quiere pasar, cierra un circúito eléctrico. Du Moncel ha reclamado contra la novedad de la invencion, citando un pasaje de su obra en que describe el *electro-aforador* de M. Chenot,

destinado á medir en las calderas de vapor la cantidad de agua, el grado de presion y la temperatura, y propone la adicion precisamente de lo que Breguet ha dado despues por nuevo.

El mismo Du Moncel ha presentado últimamente un proyecto de aparato, á que da el nombre de *electro-medidor*, que puede utilizarse, dice, para indicar la altura del agua en los depósitos destinados á alimentar las ciudades principales, de manera que el encargado pueda asegurarse de ello sin salir de su despacho. Este aparato es una reduccion del *mareógrafo eléctrico*, que tiene por objeto, entre otras cosas, marcar á ciertas horas del dia la altura de las mareas, y hace las indicaciones á distancia. Está descrito con mucha extension en el tomo II de la 2.ª edicion de sus *Aplicaciones de la electricidad.*

Otro aparato que ha hecho construir este incansable físico, es un *regulador eléctrico de la temperatura*, por medio del cual se mantiene un espacio limitado á una temperatura constante, por la accion sola de la electricidad. Si este aparato funciona con la regularidad que supone su autor, seria de suma importancia en algunas operaciones químicas y en los experimentos de física.

M. Chenot ha imaginado dos aparatos, que denomina *electro-separadores*, con objeto de simplificar las operaciones metalúrgicas; dichos aparatos se fundan en que algunos óxidos metálicos se vuelven magnéticos despues de calcinados, y pueden separarse mecánicamente de los cuerpos con que están mezclados.

Los aparatos eléctro-músicos merecen tambien ser citados en esta rápida reseña. No solo se ha utilizado la propiedad que tiene la electricidad de poner en movimiento las láminas metálicas y hacerlas vibrar, sino que el electro-magnetismo ha venido á facilitar el medio de tocar á cierta distancia algunos instrumentos, como pianos, órganos, etc.

Entre los de la primera especie, citarémos el aparato vibratorio de M. Froment, que la inconstancia de las pilas no

permite colocar entre los instrumentos músicos, pero que se emplea como regulador de la intensidad de las pilas; regulador infinitamente mas cómodo que los reómetros.

En cuanto á los aparatos electro-músicos de la segunda especie, nada mas fácil de concebir, despues de conocer los telégrafos de teclado; fundado en el mismo principio que estos, se pueden construir pianos para notar las improvisaciones músicas, mucho mas sencillos que los que se han construido con el auxilio solo de la mecánica, y hacer que un órgano de grandes dimensiones repita las tocatas de una caja de música pequeña; bastaria que el cilindro de topes que hace vibrar los resortes fuera metálico y estuviese en relacion con una rama del circúito, y que las láminas vibratorias, aisladas unas de otras, estuvieran en relacion con los electro-imanes de los pianos ú órganos electro-magnéticos, por medio de alambres especiales. En el gran concierto celebrado con motivo de la distribucion de premios de la Exposicion Universal de 1855, el jefe de orquesta se valió con muy buen éxito de un *metrónomo-eléctrico* para dirigirla.

La galvanoplástica y la fotografía encuentran en la electricidad un auxiliar que puede perfeccionar sus procedimientos en algunos casos. Para la primera ha imaginado Du Moncel un medio de que los objetos que se han de platear ó dorar sean sumergidos y retirados á tiempo del baño en que deben sufrir la accion electro-lítica, medio que propone tambien para que los huevos pasados por agua no pasen del punto. Para la segunda ha aprovechado M. Campbell la propiedad que tiene la electricidad de apresurar la impresion de la luz coloreada; impresion que es muy larga, por la poca sensibilidad del cloruro de plata.

Además de la aplicacion que hemos visto se ha hecho de la electricidad para trasmitir las órdenes en los buques de cierta consideracion, la que ha imaginado Robert Houdin para avisar por medio de una campanilla eléctrica cuando empiezan á hacer agua, y la de la corredera eléctrica para medir

su velocidad, inventada por Bain, la marina puede sacar partido del monitor eléctrico para evitar que los navíos encallen en la arena. El monitor, descrito con extension en el tomo VII, pág. 583 del *Cosmos*, consiste en una varilla encerrada en un tubo abierto por la parte inferior, que empujada hácia arriba por el contacto del plano inclinado que forman generalmente los bancos de arena, obrará sobre un conmutador, y este sobre un aparato de alarma.

Darémos fin al capítulo de aplicaciones de la electricidad con uno de esos descubrimientos que hacen época en la historia de la ciencia, y que á pesar de ser esperado hace mucho tiempo, á pesar de que estaba reconocida la posibilidad de resolver el problema, los que trabajaban en buscarle una solucion eran considerados casi como los alquimistas de la edad media, como visionarios, que corrian en busca de la piedra filosofal; hablamos de la fabricacion del diamante, de ese cuerpo mil veces mas precioso que el oro, por su valor, y que ha sido la desesperacion de tantos químicos desde que el análisis lo habia dado á conocer como un simple cristal de carbon puro; todos los medios empleados, ya por la via seca, ya por la via húmeda, infructuosos siempre, no habian producido mas que un poco de grafito, algo menos impuro que el que se encuentra en la naturaleza; este nuevo triunfo estaba reservado á la electricidad. Despretz, el sábio profesor de física que todo el mundo conoce, tuvo la feliz idea de hacer obrar de una manera continua sobre el carbon mismo una corriente eléctrica, y ha conseguido así obtener diamantes cristalizados; muy pequeños, es cierto, pero al fin son verdaderos diamantes, con todos sus caractéres mineralógicos y químicos; así es que han podido pulimentarse algunos rubíes en muy poco tiempo con el polvo de los cristales obtenidos por el sábio académico.

El procedimiento que mejores resultados ha dado está fundado en la volatilizacion lenta de la azúcar cande carbonizada, que es el carbon mas puro que se conoce, producida por

una corriente de induccion. Se toma un globo con dos tubuluras, dispuesto como el huevo eléctrico, y en el vástago inferior se sujeta el carbon puro que se quiere someter al experimento; al vástago superior se fijan doce hilos de platino, y se colocan frente al carbon, á unos 5 ó seis centímetros de distancia; despues se hace el vacío en el globo, y pasa por él la corriente inducida de la máquina de Ruhmkorff, de modo que el polo en que se produce la luz azul corresponda á los hilos de platino.

La pila en el experimento de M. Despretz se componia de cuatro elementos de Daniell, reunidos de dos en dos, y la operacion duró mas de un mes sin interrupcion. Al cabo de este tiempo se habia depositado en los hilos de platino una capa ligera y negra de carbon, sobre la cual se encontraron fijos los cristales de carbono volatilizado, muy pequeños, pero perfectamente caracterizados; unos eran octaedros negros, y otros octaedros tambien, pero blancos opalinos, reposando todos sobre una de sus cúspides.

M. Despretz ha empleado otros procedimientos muy variados, pero no es del caso darlos á conocer; nos basta tener una idea de este nuevo prodigio de la electricidad.

CAPITULO VIII.

TELEGRAFIA ELECTRICA.

Los primeros ensayos de telegrafía, fundados en la electricidad estática, desarrollada por la frotacion, datan segun el Dr. Schellen del año de 1746, en que Winkler parece haberlos hecho en Leipsig; siguieron á estos, en 1747, los de Watson en Lóndres y los de Le Monnier en Paris; pero habiendo sido todos ellos indirectos, porque el objeto de sus autores era solo estudiar la velocidad de trasmision del flúido eléctrico, no creemos que tengan mas derecho que Grey á ocupar el primer lugar en la historia de la telegrafía eléctrica, cuyo orígen es tan difícil de fijar como el de la aplicacion del vapor á la mecánica. En efecto, de la misma manera que ni Heron de Alejandría, ni Garay, ni Salomon de Caus, ni el marqués de Worcester, ni Papin, ni Watt pueden considerarse inventores de la máquina de vapor, porque los primeros no hicieron lo bastante para merecer esa gloria, y los últimos encontraron ya demasiado hecho para que no tengan que dividirla con sus predecesores; asimismo seria inexacto decir que se debe la invencion del telégrafo eléctrico á Thales, á Grey, á Watson, á Volta, á Oersted, á Wheatstone; porque los primeros, descubriendo principios y haciendo experimentos que habian de conducir al brillante resultado que hoy conocemos, estaban muy léjos de imaginarlos, y Wheatstone al establecer su primer telégrafo entre Liverpool y Manchester en 1838, marchaba, como verémos, por la senda que habian seguido ya, aunque sin igual fortuna, otros no menos

dignos de figurar en la historia de la telegrafía. En la imposibilidad, pues, de fijar á quién debe considerarse como el verdadero inventor de la telegrafía eléctrica, enumerarémos con la mayor brevedad posible los trabajos de los que despues de Winkler, Watson y Le Monnier, se han ocupado en resolver el problema de trasmitir el pensamiento á grandes distancias por medio del flúido eléctrico; pero permítasenos antes hacer mencion de un pasaje extraordinario de las *Prolusiones* de Strada, que habla de la correspondencia sostenida entre dos amigos por medio de un iman, cuya virtud era tal, que cuando habia tocado dos agujas, bastaba que una de estas fuese puesta en movimiento, para que la otra tuviese un movimiento simultáneo. Separados los dos amigos y en países muy lejanos, convinieron en encerrarse cada dia á cierta hora, y haciendo recorrer á una aguja las letras de un alfabeto puesto en la forma de una muestra de reloj, la otra aguja las reproducia fielmente en otro alfabeto igual. Este pasaje ha sido citado por Adisson en 1711, mas de cien años antes de que se conociera la influencia de la electricidad sobre la aguja magnética; de suerte que la cita, inexacta ó verdadera, es tan notable de una manera como de la otra; y no puede menos de admirarnos la imaginacion del poeta, que parecia ver al través de los siglos la forma misma que habia de dar la ciencia á sus aparatos.

Segun una carta recientemente encontrada en Inglaterra, y enviada al Instituto de Lóndres, parece que es un escocés (cuyo nombre se ignora, pero que tiene por iniciales las dos letras C. M.) el que tuvo la primera idea de aplicar la electricidad á la telegrafía. Este documento, publicado en febrero de 1753 en el tomo XV, pág. 88 del *Scots Magazine*, y cuyo extracto damos á continuacion, es indudablemente muy anterior á cuantos trabajos se conocen sobre el particular, despues de los de Watson, pues los mas antiguos eran los de Le Sage, que como verémos, no estableció su telégrafo sino veinte años despues, en 1774.

La carta empieza así: «Renfrew febrero 1.º de 1753. —Se-
»ñor: Es bien sabido de todos los que se ocupan de experimentos de electricidad, que el poder eléctrico puede propagarse á lo largo de un alambre delgado sin debilitarse sensiblemente por la longitud del tránsito. Supongamós ahora un manojo de alambres en número igual á las letras del alfabeto, tendidos horizontalmente entre dos puntos, y á distancia de una pulgada unos de otros.» Pasa despues la carta, que es muy larga, á describir cómo por medio de pedazos de vidrio ó con mástico de platero podria impedirse que los alambres tocaran la tierra ó un cuerpo buen conductor. Dice cómo ha de estar colocada la batería eléctrica en un extremo de los alambres, mientras que el otro termina cada uno por una bola, que al electrizarse, atrae unos pedacillos de papel ó de otra sustancia ligera, en que se han escrito de antemano las letras del alfabeto.

Explica luego detalladamente cómo puede trasmitirse cada palabra y cómo debe recibirse, dando á entender que las baterías eléctricas y la série de bolas es doble, porque supone primero que trasmite, y que recibe despues la contestacion del mismo modo.

Temiendo que alguno encuentre incómodo dicha manera de corresponderse, por el trabajo de ir escribiendo las letras que van marcando las atracciones, propone establecer una série de timbres en número tambien igual á las letras del alfabeto, y disminuyendo gradualmente de dimension para que la chispa, al descargarse sobre cada uno, indique por el sonido, la letra que se ha querido señalar.

Propone como variante á su sistema, en vez de poner en contacto las extremidades de los alambres horizontales con la batería, establecer un segundo manojo, que partiendo del electrificador (así lo llama), vaya á parar á los alambres horizontales del primer manojo, dispuestos de tal manera, que cada uno de los alambres de la segunda série pueda separarse del correspondiente de la primera por una presion ejer-

cida sobre una tecla, y que vuelva á tocarlo de nuevo cuando se deje en libertad, lo cual, dice, podria obtenerse por medio de un resorte ó de veinte maneras mas, que pueden concebirse sin trabajo. De ese modo, los caractéres adheridos constantemente á las bolas, se separarán inmediatamente que el alambre secundario deje de tocar al principal, y se presentará al que recibe la comunicacion.

Por último, termina su carta respondiendo á la objecion que pudiera hacerse de que aunque el *fuego* ó *flujo eléctrico* no disminuya sensiblemente de intensidad al propagarse á distancias de 30 ó 40 yardas, únicas experimentadas entonces, sí llegaria á disminuir de una manera notable, y aun á agotarse enteramente, por la accion del aire ambiente en un trascurso de algunas millas. Forrando los alambres, dice, de un extremo á otro con una capa delgada de mástico de platero, quedarian al abrigo de la accion de la atmósfera, porque la caja es eléctrica por sí misma.

El primero de los casos que se citaba con algun fundamento, para empezar la historia real y positiva de la telegrafía eléctrica, antes de conocerse el del escocés que acabamos de ver, es el de un telégrafo que constaba de veinte y cuatro hilos metálicos separados unos de otros y puestos en contacto cada uno con un electrómetro compuesto de una bola de médula de saúco; poniendo en comunicacion una máquina eléctrica con cada uno de los alambres, el movimiento de la bola designaba la letra que se queria trasmitir. Este telégrafo, segun dice el abate Moigno, fué establecido en Ginebra en 1774 por su autor *Le Sage*, y este, en una carta escrita á M. Prevost en 1782, lo describe de otra manera, sustituyendo la máquina eléctrica con un simple tubo de vidrio, y las bolas de saúco con hojillas de oro colocadas sobre las letras del alfabeto, dispuestas en forma de teclado. Los veinte y cuatro alambres encerrados en un tubo, estaban aislados unos de otros, haciéndolos pasar por veinte y cuatro agujeros de un diafragma, que se colocaba de distancia en distancia en el tubo; es pues completa-

mente la realizacion de la idea emitida por el escocés C. M. en 1753.

Dicen unos que Le Sage pensó en ofrecer su telégrafo á Federico de Prusia, y otros que llegó á ofrecerlo y no fué aceptado; lo cierto es que no tuvo aplicacion, como todos los ensayos sobre esa materia que se han hecho hasta 1837.

En la relacion de los viajes de Young por Francia, en 1787, se encuentra la descripcion de un experimento telegráfico hecho por Lomond, que empleaba para representar diferentes signos los grados de divergencia de un electrómetro, y hablaba con su mujer de una habitacion á otra de la casa. Como la longitud del alambre, dice Young, no cambia en nada el efecto, podria sostenerse una correspondencia á grandes distancias con una ciudad sitiada ó en otros mil casos.

Vienen despues Betancourt, Reyser, Cavallo, Bockman y Salvá. El primero parece haber tratado de aplicar la electricidad á las señales distantes, sirviéndose de botellas de Leyden, cuya descarga hacia pasar por alambres tendidos de Madrid á Aranjuez. No hemos podido encontrar detalles sobre estos experimentos, que segun dicen, fueron hechos en 1787.

Reyser propuso en 1794, en una publicacion titulada el *Almacen de Voigt*, una idea que habia surgido ya en la mente poderosa de Franklin: la de emplear las descargas eléctricas para iluminar las diferentes letras del alfabeto, trasmitiendo la chispa por otros tantos alambres encerrados en tubos de vidrio; y Cavallo, en su *Tratado de electricidad*, publicado en 1795, proponia para trasmitir una señal, la inflamacion de varias sustancias explosibles por medio de la botella de Leyden.

En la *Gaceta de Madrid* del 29 de noviembre de 1796 (no en la del 25, como dice Moigno) se encuentra un documento, que trascribimos íntegro, porque pone de manifiesto que nuestro país no ha permanecido extraño á los importantes trabajos que han precedido al establecimiento definitivo de la telegrafía eléctrica, y gracias á él, el nombre del Dr. D. Fran-

cisco Salvá no ha caido en el olvido, como sucede con el de tantos menos afortunados, ni puede arrebatársele la gloria de ser uno de los primeros que pusieron en práctica un sistema de telegrafía, como ha pretendido hacerlo Arago en la *Historia de las máquinas de vapor*, con nuestro inmortal Blasco de Garay (1), bajo el peregrino pretexto de que los documentos encontrados en los archivos de Simancas son manuscritos, y que la historia de las ciencias debe fundarse exclusivamente en documentos impresos.

No concebimos que un hombre á quien se ha considerado con justicia digno de figurar entre los de Plutarco haya tenido la debilidad de emitir semejante idea y apoyarla con la siguiente frase, no menos absurda: «Los documentos manuscritos no pueden tener ningun valor para el público, porque este carece las mas veces de los medios de justificar la exactitud de la fecha que se les asigna.» Nos abstenemos de todo comentario, y solo preguntariamos á M. Arago si seria posible desechar todos los documentos históricos anteriores á Gutemberg. Pero volvamos á la historia de la telegrafía, que nos ha hecho abandonar un momento la natural indignacion que produce una injusticia marcada, tanto mas sensible cuanto mas autorizada es la persona de quien procede.

Deciamos que en la *Gaceta de Madrid* del 29 de noviembre de 1796 se lee el siguiente artículo: « El Excmo. Sr. Príncipe de la Paz, que por todos medios desea fomentar los progresos de las ciencias útiles en el reino, noticioso de que el Dr. Don Francisco Salvá habia leido á la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona una memoria sobre la aplicacion de la electricidad á la telegrafía, y presentado al mismo tiempo un telégrafo eléctrico de su invencion, quiso examinarlo por sí mismo; y satisfecho de la sencillez y prontitud con que se habla con él, proporcionó al inventor la honra de hacerlo ver á los reyes, nuestros señores: al dia siguiente y

(1) Véase en las obras de Arago, edicion de Gide y Baudry, año de 1855, tomo II de las *Noticias científicas* (pág. 11).

en presencia de SS. MM., el mismo Sr. Príncipe hizo manifestar al telégrafo las palabras que juzgó oportunas, con mucha satisfaccion de sus reales personas. Pocos dias despues este telégrafo pasó al cuarto del Sermo. Sr. Infante D. Antonio, y S. A. se propuso hacer otro mas completo y averiguar la fuerza de electricidad que se necesita para hablar con dicho telégrafo á varias distancias, ya sea por tierra, ya por mar; á este fin ha mandado S. A. construir una máquina eléctrica cuyo disco tiene mas de 40 pulgadas de diámetro, con los demás aparatos correspondientes, y con ella ha resuelto emprender S. A. una série de experimentos útiles y curiosos, que le ha propuesto el mismo Dr. Salvá, de los que á su tiempo se dará noticia al público.»

Han sido infructuosas cuantas investigaciones hemos hecho para encontrar la descripcion de los aparatos y las noticias posteriores, prometidas en el periódico oficial; pero el repertorio ya citado de Voigt anunciaba dos años despues que el infante D. Antonio habia hecho construir un verdadero telégrafo en grande escala y de grande extension, añadiendo que el jóven Príncipe habia recibido de noche, por medio de su telégrafo, una noticia que le interesaba extraordinariamente. Si estos hechos son ciertos, y hay motivo para creerlo, siendo un periódico aleman el que los refiere y no teniendo por consiguiente ninguna especie de interés en atribuir falsamente á un príncipe español una gloria que no tuviera; si estos hechos son ciertos, decimos, no hay duda que es el primer telégrafo eléctrico establecido en grande escala, no existiendo pruebas, y no las hemos encontrado, de que Betancourt realizó en efecto su idea de comunicar entre Madrid y Aranjuez, valiéndose de la botella de Leyden.

De los aparatos conocidos de telegrafía, fundados en la electricidad estática, los mas ingeniosos son los del inglés Francisco Ronalds, que publicó en 1823 los experimentos que habia hecho en 1816. Una de las partes mas esenciales de su aparato consistia en un disco móvil, sobre el cual se hallaban

los caractéres, que se iban presentando á voluntad en una abertura, trasmitidos á una distancia de ocho millas inglesas por un alambre metálico.

El descubrimiento memorable de Volta debia naturalmente ejercer una gran influencia en los trabajos sobre la telegrafía eléctrica, y en efecto ya en 1811 vemos abandonar la idea de emplear la electricidad estática de las máquinas de frotacion para valerse de la pila. Soemering propuso, en una de las sesiones de la Academia de Munich, un plan completo de telegrafía, fundado en la descomposicion del agua por la pila. En el fondo de un vaso de vidrio fijó treinta y cinco puntas de oro, designadas con cada una de las veinte y cinco letras del alfabeto aleman y las diez cifras arábigas; cada una de estas puntas comunicaba con un conductor, que iba á terminar en el cilindro correspondiente, de treinta y cinco que habia marcados con las mismas letras y las mismas cifras. Introduciendo dos de ellos en el circúito de una pila, aparecian burbujas de gas en las puntas de oro correspondientes, y se indicaban dos letras, de las cuales era la primera la designada por el desprendimiento de hidrógeno, mucho mas abundante que la del oxígeno, que representaba la segunda; cuando habia que trasmitir dos veces seguidas la misma letra, se recurria al 0 entre ambas, y para indicar que una palabra habia terminado se usaba el guarismo 1. Soemering aislaba los treinta y cinco alambres, cubriéndolos con seda, y se valia de la pila de columna: propuso además, como medio de hacer sonar un despertador ó aparato de alarma, la ruptura de equilibrio determinada por el desprendimiento de los gases.

Schweiger en un curioso apéndice á la memoria de Soemering, que publicó en 1838, dice que esto último podria haberse hecho por medio de un pistolete de Volta, añadiendo una batería á la pila; medio que en aquella época hubiera tenido todos los inconvenientes de los primeros ensayos telegráficos. Añade tambien que se disminuiria considerablemente el número de alambres para producir los mismos

signos, si en vez de una pila se emplearan dos de diferente intensidad; y que teniendo en consideracion los intervalos mas ó menos largos entre las señales producidas con una ú otra pila, podrian reducirse á dos los alambres conductores. Entra Schweigger en una multitud de detalles muy interesantes, en los cuales no nos es posible seguirle.

Ya antes que Soemmering, en 1810, el profesor Coxe, de Filadelfia, habia indicado la idea de aplicar la pila voltáica á las comunicaciones telegráficas, determinando la descomposicion del agua ó de las sales metálicas á distancias mas ó menos grandes del aparato; pero con los medios disponibles entonces, su sistema, tal como lo describe, se consideró inaplicable.

El gran descubrimiento de Oersted en 1819, que hemos dado á conocer en el capítulo IV, hizo dar á la telegrafía eléctrica un paso gigantesco, pues fundado en él, se podia sustituir la señal, siempre confusa, de la descomposicion química, con otra tan sencilla y marcada como es la del movimiento de una aguja, que cambia de posicion cada vez que pasa ó deja de pasar inmediata á ella una corriente eléctrica. La posibilidad de esta idea la entrevió Fechner, y no escapó tampoco á la penetracion del ilustre Ampere, que lo hizo así presente en una memoria leida en la Academia de Ciencias el 2 de octubre de 1820. Aplicando á esta idea la que ya habia emitido Schweigger para reducir á dos los hilos del telégrafo de Soemmering, se hubiera ya tenido resuelto el problema de la telegrafía eléctrica desde el año de 1820; pero dos grandes inconvenientes, la irregularidad de las pilas, y sobre todo, el decremento rápido que experimentaban en su intensidad, no hicieron realizable esta gran idea sino en muy pequeña escala. Aseguran algunos que Richtie construyó en pequeño un telégrafo de Soemmering, modificado segun Ampere; pero dicho telégrafo no fué construido y expuesto al público sino en 1837, por M. Alexander, de Edimburgo. Tenia treinta alambres conductores, que correspondian á las

veinte y seis letras del alfabeto; tres signos de puntuacion y un asterisco para indicar el fin de una palabra. Aun cuando parecia que debia haber necesitado sesenta alambres para cerrar sus treinta circúitos, Alexander consiguió por medio de un mecanismo ingenioso que todas las corrientes se cerraran con un solo alambre.

Ninguno de estos ensayos hubiera producido el gran resultado de aplicar en grande la telegrafía eléctrica si la ciencia no hubiera avanzado, como lo hizo despues del descubrimiento de Oersted, á impulsos del genio de Ampere, Arago y Faraday. El primero, estudiando la accion que ejercen unas corrientes sobre otras, y la identidad de los imanes con los solenóides; el segundo, poniendo en evidencia la virtud magnetizadora de las corrientes eléctricas, principio el mas importante tal vez, y el de mas consecuencias en los progresos de la telegrafía; el tercero, en fin, formulando los fenómenos de la induccion que no habia podido explicar Arago. Estos tres sábios, y Daniell con su pila de corriente constante, allanaron los obstáculos que hacian impracticable el problema, y presentaron al genio inventivo de Morse, Steinheil y Wheatstone, un campo ya preparado á recibir la fecunda semilla que hemos visto florecer y fructificar en tan corto tiempo. Pero ¿á quién se debe la gloria de haber echado en el surco el primer grano? Wheatstone decia en 1838 que tenia ya reunidos los nombres de setenta y dos pretendientes; seria imposible, por consiguiente, hacernos cargo de las razones alegadas por cada uno; y los autores de obras mas especialmente consagradas á ese punto que la nuestra, han retrocedido ante semejante tarea, contentándose con examinar los derechos de los principales pretendientes; harémos lo mismo, y darémos solo un extracto de lo que sobre el particular dice el abate Moigno en su excelente *Tratado de telegrafía eléctrica*.

Morse cree que su aparato, cuya descripcion darémos mas adelante, es la primera aplicacion realizable que se ha hecho

de la electricidad á la telegrafía. Dice que lo inventó en 1832, durante un viaje que hizo de Europa á América á bordo del *Sully*, y cita en su apoyo el testimonio de Mr. Rives, embajador de los Estados-Unidos en Francia, y del capitan del paquebote, Mr. W. Pell, á quienes habia dado á conocer su idea.

Mr. Jackson, en una carta dirigida á M. Elie de Beaumont, se queja de que los sábios franceses patrocinaran inmerecidamente á Morse, que, segun él, no habia hecho mas que apropiarse el telégrafo que él habia inventado, y cuya descripcion le habia confiado á bordo del paquebote *Sully*.

Si lo que asegura Jackson fuera cierto, las aserciones de Rives y Pell, sin dejar de ser exactas, quedarian anuladas completamente, en cuanto á los derechos que establecen á favor de Morse; no creemos, sin embargo, que debe dársele entero crédito, así como tampoco convenimos con el abate Moigno en que deban aplicarse rigorosamente á todos los casos los principios de Arago sobre prioridad, que hemos condenado ya, y declarar, segun ellos, que las pretensiones de Morse á la invencion del telégrafo eléctrico son tan poco fundadas como las de Jackson. Lo que hay de positivo es, que entre la fecha en que Morse dice haber emitido su idea por primera vez, y la fecha exacta de la publicidad que le dió en setiembre de 1837, se anunciaron otros aparatos (dice el mismo Morse) fundados en principios idénticos, y entre los cuales son los mas célebres el de Steinheil, de Munich, y el de Wheatstone, de Lóndres.

Antes que estos, sin embargo, mencionarémos el del baron Schilling, de San Petersburgo, que consistia en cierto número de hilos de platino aislados, y reunidos en un cordon de seda, que ponian en movimiento, por medio de una especie de teclado, cinco agújas imantadas, colocadas en una posicion vertical en el centro del multiplicador; á todo lo cual se agregaba una especie de timbre ó repique de alarma, que funcionaba al caer una bala de plomo, por el movimiento de la agúja imantada, cuando empezaba la correspondencia.

Ya en 1834 habian dado á conocer su telégrafo los profesores Gauss y Weber; tenia por motor una máquina electro-magnética, provista de un conmutador, por medio del cual se dirigia la corriente en un sentido ó en otro; los movimientos ó las oscilaciones lentas de una barra imantada, producidas por el paso de la corriente, daban las señales necesarias para corresponder con facilidad y prontitud entre el Observatorio y el gabinete de física de la universidad de Goetinga, donde lo habian establecido.

El telégrafo de Steinheil, construido ya en julio de 1837, y designado con el nombre de *telégrafo gráfico y phonético*, se compone, como todo telégrafo, de dos partes principales, el aparato productor de las corrientes y el aparato productor de las señales, separados entre sí por una distancia de 18,000 piés, y puestos en comunicacion por un alambre conductor de 36,000. El aparato productor de corrientes era una modificacion apropiada del de Clarke, que ya conocemos. El productor de señales consistia en utilizar el descubrimiento de Oersted, desviando por medio de la corriente dos barras imantadas bien suspendidas sobre ejes verticales. Las agujas, al moverse, podian hacer sonar unos timbres, cuyos tonos diferian entre sí sensiblemente, de suerte que podia establecerse una especie de lenguaje musical. Además de eso, fijaba sobre el papel (por medio de unos tubillos capilares, que se llenaban de una tinta grasa) puntos negros, que combinados convenientemente, representaban las diversas letras del alfabeto.

El telégrafo tenia dos timbres, y dos tubos que marcaban los puntos sobre un papel en dos líneas diferentes, en correspondencia con los timbres, de suerte que los sonidos agudos y graves se escribian en la banda de papel, como notas de música, por un punto *alto* ó por un punto *bajo*. Véase la descripcion y los dibujos de este interesante aparato en los tratados de telegrafía de Schellen y de Moigno.

El telégrafo de cinco agujas, el primero que inventó

Wheatstone, y por el cual tomó un privilegio en Inglaterra el 12 de junio de 1837, está representado en la figura 169, y se comprenderá fácilmente, sin necesidad de entrar en grandes detalles sobre su disposicion. Consta esencialmente de una pila *P*, de un teclado *C*, de cinco alambres conductores y de cinco agujas que indican las letras del alfabeto, por la conversion de dos de ellas hácia un punto.

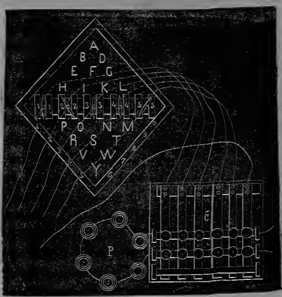


Fig. 169.

Queriendo aprovecharse del descubrimiento de Oersted, haciendo desviar la aguja magnética por el paso de una corriente eléctrica, sistema que lo conducia á obtener señales sin mecanismos complicados; pero queriendo al mismo tiempo que las agujas indicasen las letras del alfabeto, como signos mas inteligibles y mas al alcance de todos, consiguió hacerlo reduciendo á cinco el número de alambres conductores por medio de la disposicion que representa la figura.

En un rombo, dividido por cinco líneas paralelas á cada uno de sus costados, colocó cinco agujas en los puntos en que las cinco líneas se cortan en el eje menor del rombo; cada uno de los otros puntos de interseccion llevaba una letra del alfabeto en la forma que indica la figura; de modo que bastaba hacer inclinar dos agujas, apoyando sobre la tecla correspondiente del teclado *C*, para que la corriente hiciera to-

mar la misma posicion á las dos agujas correspondientes del aparato receptor, ó sea del rombo colocado al otro extremo de la línea, é idéntico al que el operador tenia delante.

Este telégrafo fué ensayado en el camino de hierro de Lóndres á Birmingham en una distancia de milla y media, y no tardó en establecerse entre Lóndres y Liverpool.

¿Por qué la invencion de Wheatstone ha formado época en la historia de la telegrafía eléctrica, hasta el punto de considerársele como el inventor de ella? ¿Será acaso porque, mas feliz que otro, pudo antes que nadie montar en grande escala su procedimiento? O ¿hay realmente alguna circunstancia notable en su invencion que la haga diferir de la idea, ya emitida por Ampere, de aplicar las corrientes á desviar de su posicion varias agujas magnéticas? Es menester confesar que una y otra cosa han contribuido á la gloria justamente merecida de Wheatstone. Ya hemos emitido, algunas páginas antes, la opinion que tenemos sobre la imposibilidad de atribuir la invencion de la telegrafía á un hombre determinado; lo que sí estamos dispuestos á apoyar es que Wheatstone es el que ha realizado ese deseo tan vivamente sentido, el que ha dado cuerpo á una sombra que todos percibian y admiraban, que casi habian llegado á tocar, pero que hasta entonces habia permanecido impalpable. En efecto, los ensayos anteriores al año de 1837 habian servido mas bien para hacer temer que el problema no se resolviera, que para demostrar su posibilidad, pues hasta los telégrafos de Gauss y Weber y el de Steinheil, los mas perfectos que se habian ideado, estaban muy léjos de ser aplicables. En el de Wheatstone los signos telegráficos obtenidos por la accion de la corriente voltáica y la desviacion de las agujas imantadas son tan marcados, tan claros, y producidos de una manera tan sencilla, que no hay lugar á confusion, y el aparato, diferente en esto de todos los anteriores, podia funcionar en manos de cualquiera. Es verdad que tenia aun el grave inconveniente de necesitar cinco alambres conductores, lo cual era

una complicacion y un gasto, que indicaban que no se habia llegado á la perfeccion; pero se estaba en camino de ella, y en efecto, no tardó en reducir á dos y á uno los alambres conductores, como verémos cuando describamos en los telégrafos de agujas los que llevan su nombre y se usan actualmente en Inglaterra y en España. Tenia además el privilegio tomado por Wheatstone, en 1837, una circunstancia notabilísima, habia en él un hecho capital, de consecuencias inmensas para el porvenir de la telegrafía, y este era el medio de poner en movimiento el timbre ó aparato de alarma, para avisar que el telégrafo iba á hablar. La corriente no obraba sobre él directamente, sino que servia solo para imantar al paso un pedazo de hierro dulce, un electro-iman, que atraia á su vez una armadura tambien de hierro dulce, y le impedia seguir oponiéndose á la accion de un resorte permanente; el escape quedaba libre, y un mecanismo de relojería hacia golpear el martillo sobre el timbre. Esto, que es en la apariencia pequeño, que hoy pasa casi desapercibido cuando examinamos un aparato telegráfico nuevo, encierra en principio un mundo de maravillas, da al hombre los medios de poner en accion á cualquier distancia todas las fuerzas de la mecánica.

Si Morse hubiera podido justificar de una manera tan patente como Wheatstone la fecha de su idea; si realmente concibió en 1832 su aparato tal como lo ejecutó en 1838, cometió una negligencia imperdonable, cuyas consecuencias sufre, porque seguramente le hubiera arrebatado una gran parte de su gloria á Wheatstone.

M. Amyot dirigió á la Academia de Ciencias de Paris, en julio de 1838, una nota, en que propone la ejecucion de un telégrafo por medio de una sola corriente y una sola aguja, que escribia sobre el papel, con una precision matemática, la correspondencia que trasmitia desde el otro extremo del conductor una simple rueda, sobre la cual se hubiera escrito por medio de puntas convenientemente espaciadas como las del cilindro de un organillo.

Masson, profesor de física en Caen, primero solo y despues asociado con el constructor Breguet, dirigió á la Academia de Ciencias de Paris la descripcion de un telégrafo en que se valia del aparato magneto-eléctrico de Pixi para desarrollar la corriente que habia de obrar sobre las agujas imantadas con que hacia sus señales. Estos ensayos, comparados con los de Morse y Steinheil, no pueden menos de calificarse de incompletos.

En 1839 dió á conocer su telégrafo electro-fisiológico M. Vorsselman de Heer, fundado en los experimentos de Pouillet sobre la resistencia del cuerpo humano, al paso de una corriente, segun las condiciones en que penetra. Consiste en un teclado doble á cada extremo del conductor; cada tecla de las diez de que consta tiene una tira de cobre doblada en uno de sus extremos, que puede entrar cuando se apoya sobre ella en un vaso que contiene mercurio, y cierra así el circúito correspondiente al signo que representa. El que recibe el despacho tiene los diez dedos apoyados sobre las diez teclas; cuando quiere responder se pone unos guantes, y el observador del otro extremo, quitándose los suyos, coloca los dedos sobre el teclado en la disposicion que los tenia el primero, mientras este va bajando las teclas correspondientes.

En el mismo año de 1839 tomó Davy en Lóndres un privilegio por un telégrafo magnético, en que un escape análogo al de los relojes detiene ó determina el movimiento de varias ruedas dentadas, segun que una pieza de hierro dulce adaptada al mecanismo se halla ó no magnetizada por la accion de un iman temporal colocado en un circúito voltáico; estas alternativas de movimiento y de reposo hacen marchar un cilindro cubierto de papel, sobre el cual se marcan los signos por medio de puntos mas ó menos espaciados; estos puntos se obtienen por medio de la accion química de la corriente y de la descomposicion de ciertas sustancias.

Los satisfactorios resultados obtenidos por Wheatstone con su primer aparato le animaron á perfeccionarlo, y en efecto,

ya indicamos que redujo á dos los cinco alambres conductores, haciendo las señales con dos agujas; tanto este como el de una sola aguja y un simple conductor, lo describirémos despues. Ahora solo dirémos que no contento con esas mejoras, inauguró una nueva época en la historia de la electricidad, dando terminado en 1840 su telégrafo de muestra, que es el que verdaderamente ha popularizado la telegrafía, hasta el punto de hacer accesible el manejo de los aparatos á toda clase de personas. Debiendo dar algunas páginas mas adelante la descripcion de los telégrafos que están actualmente en uso, harémos presente ahora que en este telégrafo no se produce ningun efecto dinámico directo por la corriente, ni se hace uso del principio de Oersted para desviar una aguja magnética. La corriente, al pasar, imanta el hierro de un electro-iman; este separa de su posicion un pedazo de hierro dulce, que deja obrar un mecanismo de relojería, pero vuelve al instante á recobrar su posicion por la accion de unos resortes; el mecanismo de relojería hace mover una aguja que va recorriendo en una esfera de reloj ó muestra, las letras del alfabeto, marcadas en él, y se detiene un momento en la que se quiere indicar. Este es el principio del telégrafo de muestra, análogo, segun se ve, al del timbre ó aparato de alarma, que describió Wheatstone en su primer telégrafo de agujas, y que ha servido de base á todas las invenciones en que por medio de la electricidad se quiere obtener un efecto mecánico á una gran distancia.

Resuelto ya el problema de hacer práctica la aplicacion de la electricidad á la telegrafía; establecido el primer telégrafo por Wheatstone, en Inglaterra, y popularizada su invencion con la forma que le dió en el telégrafo de alfabeto, fueron infinitos los que se lanzaron á buscar nuevos medios de trasmitir el pensamiento por la electricidad. El corto espacio en que podemos señalar las principales de estas invenciones, y la conveniencia de darlas á conocer con alguna claridad, nos obligan á abandonar el órden cronológico para agrupar las

descripciones de los telégrafos que hoy están en uso, y las modificaciones propuestas, de manera que nos sea posible conciliar la exactitud con la brevedad.

Telégrafos de agujas.

Los telégrafos de agujas, aunque tienen el inconveniente de emplear signos convencionales para representar las letras del alfabeto ó frases determinadas, reunen en cambio la ventaja de funcionar con una fuerza electro-motriz mucho menor que los demás telégrafos, la de ser sumamente sencillos en su mecanismo, y la de trasmitir los signos con mas rapidez que los telégrafos de muestra y los gráficos ó de signos.

Las figuras 170 y 171 pueden dar una idea completa del principio en que está fundado el telégrafo de agujas de Cooke y Wheatstone, destinado al servicio de los caminos de hierro y para las correspondencias telegráficas en Inglaterra.

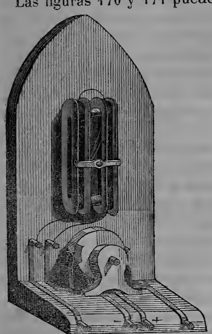


Fig. 179.

El receptor es un multiplicador de Schweigger, cuya aguja por consiguiente se inclina á un lado ó á otro, segun la direccion de la corriente; sobre el mismo eje se monta otra aguja, tambien imantada, formando con la primera un sistema astático, lo cual proporciona la doble ventaja de hacer mas sensible el aparato, y de poder observar con mas facilidad en la que queda fuera del cuadro, el lado hácia el cual se inclina; la aguja indicadora

tiene un contrapeso pequeño, que le hace tomar la posicion vertical en el momento en que deja de pasar la corriente.

El manipulador se compone de un conmutador como el que explicamos en la pág. 303, capítulo v, destinado á cambiar el sentido de la corriente y á abrir y cerrar el circúito; es pues inútil que nos detengamos á explicarlo; dirémos solo que está dispuesto de manera que basta que el encargado de trasmitir un despacho incline el manubrio *m* del comunicador en uno ú otro sentido, para que la corriente, variando de direccion, haga inclinar del mismo lado la aguja del receptor establecida en el extremo del conductor, es decir, en otra estacion, al mismo tiempo que lo verifica en el que está inmediato á él. Cuando el mango del manipulador está vertical, la corriente se halla interrumpida, y la aguja, por consiguiente, guardará tambien la posicion vertical.

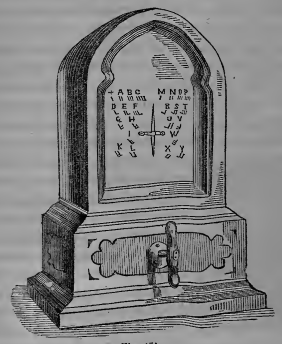


Fig. 171.

En la parte exterior del aparato se halla marcado el alfabe-

to, que consiste en el número de oscilaciones que hace la aguja á un lado ó á otro. Parece confuso al que lo ve por primera vez; pero Walker y otros aseguran que es fácil de aprender.

A pesar de la sencillez de este telégrafo, y á pesar tambien de la ventaja de no necesitar mas que un alambre conductor, en Inglaterra y en los demás paises donde se ha adoptado esta clase de telégrafos, se prefiere usar el de dos agujas, debido tambien á Wheatstone, que tiene la ventaja de trasmitir los signos con mas rapidez, pero adolece del inconveniente de exigir dos alambres, y de hacer mas costosa por consiguiente su instalacion.

El mecanismo del telégrafo de dos agujas es enteramente igual al de una sola, que acabamos de explicar, solo se diferencia en que es doble, porque cada aguja necesita el suyo. Como los signos se indican por las oscilaciones, ya de una aguja, ya de ambas, el mas complicado no necesita sino tres movimientos, mientras que en el telégrafo de una aguja es preciso algunas veces hacer hasta cinco. Los telégrafos de Wheatstone llevan todos un repique ó aparato de alarma, cuyo mecanismo, como se ha indicado, consiste en hacer pasar la corriente que atraviesa el conductor, por un electro-iman, cuya armadura es atraida inmediatamente y deja funcionar un mecanismo de relojería, á cuyo movimiento se opone tan luego como cesa de pasar la corriente; tal como la ideó Wheatstone, ó modificada de varias maneras, esta pieza ha sido adaptada á todos los telégrafos, cualquiera que sea el sistema en que se funden.

Mr. Bain ha ideado otro telégrafo de una sola aguja con un solo conductor, por medio del cual trasmite los signos, sin necesidad de pasar de cuatro movimientos para cada uno, es decir, uno mas que en el telégrafo de dos agujas de Wheatstone. Este telégrafo, modificado por M. Ekling de Viena, ha sido adoptado por la administracion de las líneas telegráficas de Austria, y fué instalado por primera vez en 1846 en la línea de Edimburgo á Glasgow.

Mr. Henley ha construido un telégrafo en que se vale como fuerza motriz de los aparatos de induccion, que en general funcionan muy bien y exigen muy poca fuerza.

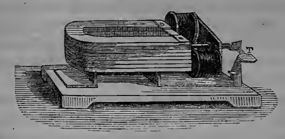


Fig. 172.

La figura 172 representa el manipulador, que consiste en un iman permanente, frente al cual hay un electro-iman, que por medio de la tecla *T* puede presentar el uno ó el otro de sus brazos á cada polo del iman, produciendo una corriente de induccion cada vez que cambia de posicion. La tecla está dispuesta de modo que cuando se suelta despues de haberla bajado, vuelve naturalmente á ocupar su posicion primitiva así como el electro-iman.

El receptor se compone de un electro-iman y de una aguja imantada que oscila entre sus polos, desviada por la influencia de la corriente magneto-eléctrica desarrollada por el manipulador y que circula por el electro-iman del receptor; para que este tenga mas sensibilidad, en los polos del electro-iman hay dos piezas de hierro dulce semicirculares, que presentan cuatro polos, y en el círculo que forman es donde se encuentra la aguja (figura 173). El movimiento de esta no se utiliza sino en un sentido. Las señales que se hacen con este telégrafo se traducen al papel como las que por sí mismo escribe el telégrafo de Morse, de que hablarémos des-



Fig. 173.

pues; es decir, por líneas y puntos. Una doble oscilacion instantánea, que se produce cuando se baja y se suelta la tecla inmediatamente, corresponde á un punto. Para que la aguja permanezca fija un espacio de tiempo sensible, lo cual equivale á una línea, basta que la tecla se mantenga un momento en su posicion; la desviacion de la aguja subsiste entonces, porque el magnetismo desarrollado en el electro-iman no cesa instantáneamente.

Si se dispusiera un doble manipulador y un doble receptor, podrian moverse simultáneamente las dos agujas, y se aumentaria el número de signos como en el telégrafo de Wheatstone, pero necesitaria tambien dos circúitos.

Este telégrafo lleva siempre un aparato compuesto de un electro-iman, una aguja y dos timbres, que sirve de avisador, y facilita la inteligencia de los signos, porque el sonido de los timbres coincide exactamente con las oscilaciones de la aguja del receptor.

M. Gloesener, profesor de física de la universidad de Lieja, ha hecho modificaciones importantes en los telégrafos de aguja inventados por Wheatstone.

Primeramente, con objeto de aumentar la sensibilidad, se valió de un multiplicador con tres agujas cortas y ligeras, y fijó delante de la aguja colocada en la parte posterior del multiplicador, un electro-iman, cuya accion sobre ella favorece la del multiplicador sobre las tres, acrecentando de ese modo el efecto útil de la fuerza electro-motriz, que puede aprovecharse de tres maneras diferentes: haciendo funcionar el aparato por la influencia del multiplicador solo, por la del electro-iman únicamente, ó por la de ambos, combinada convenientemente.

Posteriormente se ha convencido M. Gloesener de que la construccion de los telégrafos de agujas modificado por él, podia simplificarse mucho, y aumentar su sensibilidad suprimiendo el multiplicador. Emplea solo un electro-iman y dos agujas imantadas muy ligeras, puestas en cruz delante del

electro-iman sobre un eje horizontal muy móvil, provisto de un contrapeso pequeño, que le hace tomar prontamente su posicion inicial en cuanto se interrumpe la corriente; la aguja indicadora, que sale fuera del aparato, es una aguja cualquiera, que no necesita estar imantada, porque sigue los movimientos del eje en que están las otras dos en cruz.

Para hacer oscilar estas, basta que los manubrios de los aparatos, en vez de interrumpir y establecer la corriente, como sucede en los de Wheatstone, inviertan el sentido de ella de modo que los polos del electro-iman cambien de nombre á cada movimiento de los manubrios; los cuales en los aparatos de Gloesener tienen fuertes resortes, que los vuelven á su posicion primera cuando se sueltan.

Tiene además el telégrafo modificado por el físico belga un aparato, á que da el nombre de *brújula electro-magnética*, de construccion semejante al aparato principal, y que sirve para las comunicaciones directas, sin necesidad de que la corriente pase por todos los aparatos de las estaciones intermedias, permitiendo además que dos estaciones vecinas se hablen, mientras que otras mas distantes, colocadas á un lado y á otro, pueden hacerlo tambien sin estorbarse mútuamente, y sin que el secreto de los despachos sea conocido mas que de las dos correspondientes.

Una de las mayores ventajas de la modificacion del telégrafo de agujas hecho por Gloesener, es la de destruir con la inversion de las corrientes los dañosos efectos de la induccion eléctrica, que sobre todo en los conductores submarinos, influye notablemente en la velocidad de la trasmision. Resulta además de los experimentos hechos por el autor, y citados en su excelente trabajo sobre la telegrafía, que la fuerza electro-motriz se acrecienta mas del doble.

Los telégrafos de agujas tienen, como ya hemos dicho, la ventaja de ser mas sencillos y mas seguros que los demás, y trasmiten con mucha rapidez las comunicaciones, no solo porque los movimientos para ello son prontos, sino porque

los signos son independientes unos de otros, y aun cuando el que trasmite se equivoque en una letra, la equivocacion no tiene influencia ninguna sobre las letras que la siguen.

En cambio de esas ventajas, tienen algunos inconvenientes. En primer lugar las señales son fugitivas, y es menester que los telegrafistas, además de aprender un alfabeto nuevo, tengan mucha práctica para poder seguir al que trasmite con alguna rapidez; cuando esta es grande, es indispensable un segundo empleado, que escriba lo que dicta el primero. Gloesener, al decir que esto es raro, da á entender que la trasmision en el telégrafo de agujas es lenta, en lo cual no lleva razon.

Otro de los inconvenientes que se atribuyen á los telégrafos de agujas es el de exigir dos alambres conductores; pero esto no es sino en el de dos agujas, y realmente no podemos creer que haya mas ventaja en valerse de dos alambres para el mismo telégrafo, por mas que se simplifiquen los signos, que la que resultaria de tener dos telégrafos de una sola aguja, que trabajaran simultáneamente.

En los telégrafos de dos agujas es tambien mayor el inconveniente, que se achaca á todos los de agujas indistintamente, de ser confusos porque no quedan fijos despues de la interrupcion, sino que oscilan un poco, haciendo imposible la pronta trasmision de los signos.

Por último, y es casi la mas grave de las objeciones que se oponen á la preferencia que quieren dar algunos á los telégrafos de agujas, la electricidad atmosférica afecta las agujas de mil modos, desarrolla en los conductores corrientes, que segun estén dirigidas en un sentido ó en otro, aumentan ó disminuyen las desviaciones; dichas corrientes modifican, destruyen y á veces invierten los polos de las agujas, y las perturbaciones se presentan algunas veces en una estacion, y no en la otra, de suerte que mezclados los efectos de las corrientes locales y de las trasmitidas, confunden completamente las comunicaciones.

En una palabra, las causas perturbatrices, como son la electricidad ordinaria, el rayo y las auroras boreales, descomponen los telégrafos de agujas con mas facilidad que los de otra especie; lo cual no impide que se usen ventajosamente en toda Inglaterra y en otros puntos de Europa.

Telégrafos de muestra.

Los telégrafos que denominarémos de muestra ó de alfabeto, porque impropiamente se llamarian en castellano de cuadrante, son los que verdaderamente han popularizado la telegrafía, pues con ellos puede cualquiera trasmitir y recibir una comunicacion aunque no haya visto nunca un telégrafo.

Ya sabemos que Wheatstone fué el primero que imaginó construir esta clase de telégrafos, fundados en la propiedad que tiene el hierro dulce de imantarse por la accion de una corriente eléctrica, y de desimantarse en el momento en que deja de pasar; pero con el fin de que pueda concebirse fácilmente el principio en que se fundan casi todos estos aparatos, empezarémos por dar la descripcion del que se conoce con el nombre de *telégrafo de demostracion*, construido por M. Froment.

El manipulador y el receptor están representados en las figuras 174 y 175.

El primero se halla instalado en la estacion donde se encuentra la pila, y el segundo en el sitio adonde se quiere trasmitir el despacho; y como en todos los demás telégrafos, el alambre conductor de la corriente, que sale de uno de los polos de la pila, atraviesa los dos aparatos y va á enterrarse en el suelo despues de salir del receptor; estando el segundo polo de la pila en comunicacion con la tierra, el circúito se encuentra completo. Pero ès menester abrirlo y cerrarlo alternativamente, como en los telégrafos de agujas, porque la imantacion seria, de lo contrario, permanente y no habria señal; para conseguirlo ha sido preciso dar á los aparatos la

disposicion que vamos á describir primero, y despues explicarémos cómo se verifica el movimiento en ambos, con la regularidad indispensable.

El manipulador *M* (figura 174) consiste en una esfera de reloj, sobre la cual están marcados veinte y seis signos, que son las letras del alfabeto; esta esfera tiene en su centro una aguja montada sobre una rueda metálica *d*, con trece dientes, repartidos con igualdad en su circunferencia, de manera que los espacios entre diente y diente sean iguales á estos; dichos

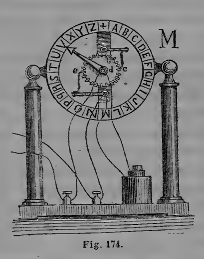


Fig. 174.

espacios se rellenan con tacos de madera, gutta-percha ú otra sustancia aisladora, ó lo que es lo mismo, se dejan en hueco; lo esencial es, que dos topecillos *e*, *c*, colocados al extremo de dos resortes metálicos, apoyen sobre la circunferencia de la rueda, y cuando esta dé vueltas se hallen alternativamente en contacto metálico ó aislados, segun toquen ó no á los dientes de la rueda.

El receptor *R* (figura 175) es otra esfera de reloj, igual á la del manipulador, con los mismos signos y una aguja que los recorre; la aguja está tambien montada sobre una rueda *j*, que se mueve al mismo tiempo que ella; pero esta rueda tie-

ne los dientes en la forma que indica la figura, es decir, como los de una rueda de escape, oblícuos con respecto al rádio de la rueda y presentando una especie de plano inclinado á las dos clavijas *h*, *k*, del áncora *h f k*, que recibe un movimiento de vaiven de derecha á izquierda y de izquierda á derecha, y hace avanzar á la rueda medio diente en cada movimiento, pues las clavijas apoyan alternativamente sobre la parte inclinada de los dientes, y los empuja siempre en el mismo sentido, produciendo un movimiento de rotacion continuo. El

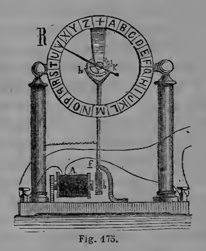


Fig. 175.

brazo *f* del áncora está unido á uno de los extremos de una palanca, que lleva unido al otro un pedazo de hierro dulce *b*, que sirve de armadura al electro-iman *A*. Fácilmente se comprende ahora que cada vez que pase por el electro-iman una corriente eléctrica, atraerá hácia sí la armadura *b*, esta arrastra consigo la palanca *f*, y el áncora en su movimiento empuja con la clavija *h* la rueda *j*, que avanza medio diente, quedando la clavija *k* sin accion durante este movimiento; pero hará lo mismo que la *h* en el momento en que el áncora vuelva hácia atrás, de resultas de la desimantacion del electro-iman, que deja libre la armadura, y por consiguiente

la palanca, que obedece á la accion de un resorte que tiende á separarla del electro-iman.

Como la rueda tiene trece dientes, y no avanza mas que medio en cada imantacion y otro medio en la desimantacion, resulta que cuando el electro-iman se halla imantado trece veces y desimantado otras tantas, la rueda habrá dado una vuelta entera, haciendo veinte y seis movimientos, y la aguja que la sigue invariablemente en su marcha, se habrá ido colocando sucesivamente delante de cada una de las veinte y seis letras ó signos de la esfera. Vamos á ver cómo se pueden producir estas imantaciones alternativas desde la otra estacion, de modo que la aguja del receptor marque siempre la letra que se quiera indicar.

Si se recuerda que la aguja del manipulador *M* está invariablemente fija á la rueda *d;* que la circunferencia de esta se halla dividida en veinte y seis partes iguales, trece metálicas y trece aisladoras; que los topes *e, c* están en comunicacion metálica y aislados uno de otro alternativamente, se comprenderá sin necesidad de explicacion, que haciendo pasar la corriente de la pila al electro-iman por este interruptor, que no es otra cosa la rueda *d* con los topes, el electro-iman habrá sufrido trece imantaciones, y otras trece desimantaciones cuando la rueda *d*, y por consiguiente la aguja del manipulador, haya dado una vuelta entera. Bastará pues que las dos agujas estén sobre el mismo signo al empezar, para que cada movimiento de la una sea fielmente repetido por la otra.

Para trasmitir una palabra se hace girar rápida, pero uniformemente, la aguja del manipulador, siempre de izquierda á derecha, hasta llegar á la letra que se quiere trasmitir, y allí se detiene un momento la aguja; el observador que recibe el despacho ve detenerse la aguja sobre una letra, y sabe que es aquella la que se le indica; despues de cada palabra se detiene un momento la aguja en la cruz marcada entre la *Z* y la *A*.

El telégrafo de muestra, tal como lo inventó Wheatstone,

difiere muy poco del que acabamos de explicar, que si se quiere, es todavía mas elemental, menos perfecto, aunque construido despues; porque el objeto de M. Froment ha sido solo reducir á su mayor sencillez el principio aplicado por el sábio inglés.

El mecanismo, como decimos, es igual: un interruptor ó reótomo en el manipulador y en el receptor un electro-iman con las piezas necesarias para cambiar su movimiento de vaiven en movimiento de rotacion. En el receptor de Wheatstone la esfera ó muestra en que están marcadas las letras se mueve con la aguja detrás de una pantalla con una sola abertura, que no deja ver mas que una letra, y delante de la cual viene á presentarse la que se trasmite. El comunicador ó manipulador consiste tambien en un círculo en que están grabadas las letras, y que se mueve, como la aguja en el de demostracion, al mismo tiempo que el interruptor. Unas aspas en la circunferencia, colocadas en los intervalos de letra á letra, permiten colocar el dedo en la que se quiere trasmitir, y se hace girar hasta tropezar en un tope fijo en un punto que no le permite pasar adelante. Reflexionando un poco, se ve que el efecto es el mismo que en el movimiento de la aguja, porque el interruptor hace pasar el mismo número de divisiones para cada letra, ya sea la esfera misma, ya la aguja sola la que se mueva.

Este aparato, si bien exige un mecanismo que no necesitan los telégrafos de agujas, no puede decirse que es muy complicado; así es que á pesar de que es mas lento, ha reemplazado á los otros en una multitud de circunstancias, por la gran ventaja de indicar directamente cada señal de una manera que no puede dejar lugar á la duda. Sin embargo, prescindiendo de algunos inconvenientes comunes á todos los telégrafos de muestra de que hablarémos despues, tiene uno especialmente suyo, el de exigir una fuerza electro-motriz considerable, y no poderse emplear por consiguiente á grandes distancias.

Wheatstone remedió este inconveniente, adaptando al re-

ceptor un mecanismo de relojería puesto en accion por un resorte ó por un peso, y que tiende siempre á dar á la rueda en que está fija la aguja un movimiento rápido de rotacion; pero un mecanismo alternativo, semejante al de un áncora de escape, no permite que la rueda avance mas que la distancia de medio diente, cada vez que la armadura es atraida por la accion alternativa del iman y del resorte que hemos explicado en el telégrafo de demostracion. Sustituyendo de esta manera un escape á una impulsion, el aparato se ha hecho infinitamente mas sensible, y con la misma fuerza electro-motriz se trasmite á una distancia mucho mayor. Este mecanismo lo ha aplicado su autor á los repiques ó aparatos de alarma, á la impresion de los despachos y á otra multitud de efectos mecánicos.

Telégrafo de Breguet.—Breguet ha modificado el telégrafo de muestra de Wheatstone, dándole la forma que representan las figuras 176, 177 y 178. Darémos á continuacion la descripcion que hace su autor del manipulador y del receptor; porque siendo el que generalmente se usa en los caminos de hierro de España y de Francia, podrá ser de interés conocerlos.

El manipulador (figura 176) se compone de una tabla cuadrada, sobre la cual está montada, por medio de tres columnas, una plancha circular de laton, que tiene en su circunferencia unas muescas correspondientes á las letras y á los números grabados sobre la plancha en dos círculos concéntricos, de modo que en la prolongacion de nn rádio se encuentra una letra, un número y una muesca.

Hay un manubrio articulado en el centro de la plancha circular, con un eje que encaja en una rueda R, que se ve en parte figurada por puntos, cuya llanta está formada de sinuosidades regulares y en número igual á la mitad de los signos grabados en uno de los círculos concéntricos de la plancha. Esta rueda al girar produce un movimiento de vaiven en la

palanca *G*, que oscila al rededor del centro *O* y va á tocar alternativamente los contactos *P* y *P'*, de suerte que en cada vuelta completa de la rueda la palanca hace trece oscilaciones y se encuentra trece veces en contacto con *P* y otras tantas con *P'*.

En la tabla hay fijas seis piececillas de cobre, llamadas *gotas*, tres á la izquierda y tres á la derecha, formando dos grupos, entre los cuales hay una tira de cobre que lleva escrito encima: *Comunicacion directa;* hay además cinco tor-

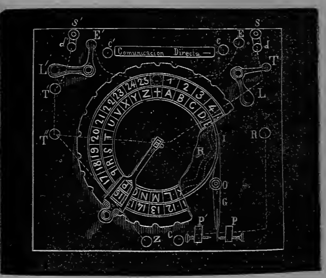


Fig. 176.

nillos de cobre, donde se sujetan los alambres conductores, que unen al manipulador por una parte con el receptor y por otra con la pila, la tierra y el repique ó avisador. Dos manecillas con resortes *L L'*, donde se sujeta el alambre de la línea, sirven para poner en contacto á este con los diversos aparatos mencionados, por medio de las gotas *T T' S S' E E'*.

Una de las columnas que sostienen la plancha del alfabeto está en comunicacion metálica con las gotas *E E'*. El tornillo *C* comunica con *P'*, *T''* con *T* y *T'*, *R* con *P*, *S* con *d*, y las gotas ó *platinas c c'* con la *comunicacion directa*.

El tornillo R comunica por medio de un alambre con el receptor, y el T'' con la tierra. C lo está á su vez con el polo cobre de la pila, cuyo polo zinc va á parar á la tierra, y los tornillos S S' comunican ambos con el timbre ó avisador. Por último, se observará que hay comunicacion entre la columna inmediata á la cruz y la que sirve de centro de movimiento á la palanca L, pues ambas están fijas á la muestra, que es una plancha metálica.

Tal como está la figura, siempre que el manubrio del manipulador se halle sobre un número impar, 1, 3, 5, etc., la palanca G estará en contacto con P', y si por el contrario se halla sobre un número par, el contacto será con P; en este caso la corriente pasa al conductor de la línea, y en el primero se halla interrumpida y no pasa al receptor.

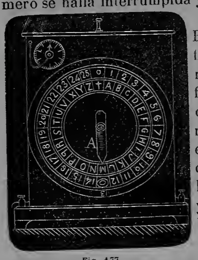


Fig. 177.

El receptor del telégrafo de Breguet está representado en las figuras 177 y 178. Consiste, como el de Wheatstone, en una esfera, sobre la cual se hallan marcados los signos que va recorriendo una aguja. Aquí los signos están colocados en dos círculos concéntricos, uno que contiene las veinte y seis letras del alfabeto y el otro veinte y seis números. En cuanto al mecanismo del receptor, es inútil que nos detengamos á describirlo, porque es muy semejante, si no igual, al de Wheatstone; un mecanismo de relojería, puesto en accion por un resorte, que tiende á hacer girar la aguja con rapidez, y un electro–iman cuya armadura tiene una palanca que no permite avanzar á la rueda de trece dientes, en que está montada la aguja, mas que la distancia de medio diente. Segun parece, Breguet se ha aplicado particularmente á perfeccionar el escape, de modo que permita

marchar con mas rapidez el mecanismo de relojería, y á hacer que el electro-iman pueda montarse y desmontarse con facilidad aun por los obreros menos inteligentes.

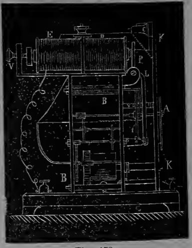


Fig. 178.

No nos detendrémos tampoco, porque no es del caso, en describir los demás aparatos accesorios que ha perfeccionado ó inventado Breguet, y que acompañan siempre sus telégrafos; entre ellos merecen mencionarse los avisadores ó repiques, los conmutadores, de que hablamos en el capítulo v, y los para-rayos, que mencionarémos mas adelante.

M. Mouilleron ha introducido una modificacion en el telégrafo de Breguet, para evitar el que tenga que graduarse á mano la tension del resorte antagonista, segun la intensidad de la corriente eléctrica; hay que tener, sin embargo, el cuidado de aflojar el resorte todas las noches, despues de terminado el servicio, y el de dar varias vueltas al manipulador antes de empezar á trasmitir.

M. Paul Garnier ha presentado á la Academia de Ciencias de Paris la descripcion de un telégrafo de muestra, notable por la sencillez de los elementos mecánicos que hace entrar en su composicion.

Ha evitado emplear los engranajes, y el motor es un peso muy ligero, de 100 gramos, que hace las veces del resorte que tienen el de Wheatstone y el de Breguet, y que segun dice, presenta el inconveniente de romperse cuando menos se piensa. Segun parece, los medios que ha empleado son

mucho mas sencillos que los generalmente usados, sin ser por eso menos seguros, y promete que su duracion será mucho mayor y su coste infinitamente menos grande.

En cuanto á la manera de indicar los signos, es algo semejante á la del primer telégrafo de Wheatstone, pues las letras, números y signos telegráficos, colocados en tres círculos concéntricos de una esfera, se van presentando delante de las aberturas que para ello tiene la caja en que está encerrado el aparato. El órden en que se colocan las letras no es el del alfabeto, sino el que la experiencia ha enseñado, despues de varios ensayos, como mas conveniente para trasmitir prontamente un despacho.

Telégrafo de Pelchrzim. — Es tambien un telégrafo de muestra, en que el mecanismo de relojería está reemplazado por un contrapeso al extremo de una palanca, en la cual se halla montada el áncora que hace girar la rueda unida á la aguja indicadora; este contrapeso está calculado de manera, que siendo suficiente á empujar la rueda, no oponga dificultad ninguna á la atraccion de la armadura por el electro-iman. El comunicador ó manipulador se compone de una tabla de madera con una muestra de laton, en que están inscritas las letras y signos telegráficos, y en cuyo borde interior hay tantas bolitas de cobre como signos. En el centro del aparato se halla montado un disco de laton aislado de la muestra; pero dispuesto de modo que comúnica con ella por medio de cada una de las bolas, siempre que las toca un apéndice metálico, y esto sucede cuando el indicador se halla sobre la letra correspondiente; si el disco se pone en comunicacion con el receptor y la muestra con la pila, solo habrá circúito cerrado cuando ambas partes del manipulador comuniquen entre sí por medio de las bolas, es decir, cuando el indicador esté sobre una letra.

Telégrafo de Drescher. — Queriendo evitar que la mano del hombre, ya sea directamente, ya por medio de un manubrio,

vaya colocando la aguja sobre cada uno de los signos que se quieren indicar, porque no es posible obtener rapidez en la trasmision sin una gran fatiga, Drescher ha hecho que el indicador reciba su rotacion de un mecanismo de relojería, sin la intervencion inmediata de la mano.

El receptor, como en los telégrafos de muestra que llevamos explicados, tiene los signos marcados sobre una plancha circular, donde los va señalando la aguja montada en el centro sobre un eje, que lo es tambien de una rueda dentada puesta en movimiento por las atracciones y repulsiones de la armadura de un electro-iman; armadura que se mueve al rededor de otro eje, y que tiene en su centro una horquilla, que es la que engrana en la rueda de dientes.

El comunicador es un conjunto de ruedas dentadas, como el de todos los mecanismos de relojería, puesto en movimiento por un peso que hace girar constantemente, mientras no se le detiene, un disco metálico cuya circunferencia está dividida en tantas partes iguales como letras ó signos hay en el receptor, y que son alternativamente conductoras ó aisladoras. Contra el borde del disco apoya un rodillo metálico aislado, que comunica con la pila por medio de un alambre, de suerte que esta no comunica con el disco sino cuando el rodillo apoya sobre una parte metálica, y la comunicacion se encuentra interrumpida siempre que el rodillo toca una parte aisladora. Si se deja libre la accion del peso, hace dar vueltas al disco sin interrupcion; pero hay un teclado circular, dispuesto de modo que cuando se baja una tecla, impide que el disco siga girando, y la aguja se detiene por consiguiente en el receptor sobre la letra correspondiente. Todas las teclas, menos la que se halla entre *A* y *Z*, tienen un resorte que las vuelve á su posicion en cuanto se deja de apoyar sobre ellas; la tecla sin resorte que se quita ó levanta mientras se hace uso del comunicador, se baja, por el contrario, cuando se termina, y el disco, por consiguiente, viene á detenerse en ella. El aparato está arreglado para que el

disco y el rodillo en esa posicion se comuniquen metálicamente, y la corriente pase constantemente de una estacion á otra.

Telégrafo de Siemens y Halske. — Este es el aparato que se considera en Alemania como el mas perfecto de cuantos se han inventado, y es el único que con el de Kramer, se emplea en las líneas telegráficas, á pesar de que algunos lo tachan de lento y otros de complicado.

Está representado en la figura 179; *E E'* son los polos de un electro-iman, planos, como se ve, de un lado, y semicircu-

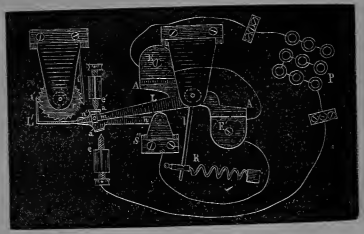


Fig. 179.

lares del otro. *A A'* es la armadura móvil al rededor de un eje vertical; un brazo de palanca *l*, fijo al centro de la armadura, tiende por medio del resorte *R'* á separarla del electro-iman, de manera que no está en contacto con él sino bajo la influencia de la atraccion producida por el paso de la corriente. Otro brazo de palanca mas largo *L L'*, fijo tambien á la armadura, da vuelta con ella sobre el mismo eje, y participa por consiguiente de su movimiento; tiene en el extremo *L'* un vástago con un gancho ó fiador *t'*, que entra en los dientes de una ruedecilla dentada de acero *r*, y que al bajar la hace gi-

rar la distancia de un diente, resbalando, por el contrario, al subir hasta engancharse en otro diente; otro fiador t'' impide que la rueda vuelva atrás en el movimiento ascendente del primero. Una aguja ó indicador de acero, montada en el eje de la rueda, da vuelta con esta sobre las letras marcadas en el teclado circular de la figura 180. Se ve pues, y no es necesario explicarlo, cómo el paso ó la interrupcion de la corriente hacen marchar la aguja de una letra á otra.

El órgano esencial del telégrafo de Siemens ha recibido el nombre de lanzadera, porque como la de los tejedores, va sin cesar de izquierda á derecha para establecer é interrumpir la corriente, imprimiendo así á la armadura un movimiento continuo. Esta lanzadera, representada por n n' en la figura, es un paralelepípedo de cobre, muy prolongado, una verdadera barra, montada sobre un soporte S''' y armada de dos apéndices a a', terminados tambien por dos planchas de cobre, sobre los cuales apoya con aislamiento la pieza m de la palanca, que arrastra en su movimiento la lanzadera y la hace tocar con los apéndices en los tornillos e e' alternativamente, de los cuales el uno e está en comunicacion con la pila, y se cierra por consiguiente el circúito cuando está en contacto con él; entonces el electro-iman atrae la armadura, y la lanzadera empujada por la palanca L L, se separa del tornillo e, se rompe el circúito, y el resorte R obra sobre la armadura y la palanca, obligándola á tocar de nuevo el tornillo e, donde se restablece la corriente. El tornillo e' sirve solo para limitar la corrida de la lanzadera.

Uno de los caractéres principales del telégrafo de Siemens es pues el de tener un mecanismo que funciona mientras la pila del circúito está en actividad, y la aguja del receptor ó indicador recorre constantemente el círculo en que están marcados los signos sin necesidad de un movimiento de relojería como el de los telégrafos franceses.

Para detener la marcha de la aguja y marcar en el indicador la letra que se quiere trasmitir, el receptor está dispues-

to de manera, que sirve al mismo tiempo de manipulador ó de comunicador. La muestra, en vez de ser una plancha de una sola pieza, es un teclado circular, en cuyo centro se mueve la aguja; cada tecla (figura 180) tiene su letra y número correspondientes, y en la parte inferior se prolonga, ó mas bien,



Fig. 180.

tiene como apéndice una punta de acero que la presion del dedo hace bajar, y penetra en el interior del aparato para servir de impedimento á otra aguja montada sobre el mismo eje que la rueda dentada *r* de la figura 179, y paralela á la del indicador; este, por consiguiente, se detiene sobre la misma letra en ambas estaciones.

Tiene además el aparato un despertador ó repique, cuyo mecanismo es semejante al del telégrafo, y que se introduce en el circúito, separando aquel por medio de un conmutador mientras no se trasmite ó recibe un despachó. Si el operador de la estacion que recibe quiere trasmitir á su vez, manifestar alguna duda ó pedir algunas explicaciones, pone el dedo sobre una tecla, la aguja de la primera estacion se detiene sobre la señal correspondiente á la tecla, y previene

al que envia el despacho de que quieren hablarle, se explican mútuamente, y el despacho primitivo continúa trasmitiéndose sin que haya lugar á dudas; puede decirse que es una conversacion bien ordenada entre dos personas que quieren oirse y en la cual cada uno tiene la libertad de interrumpir al otro cuando lo cree necesario.

Telégrafo de Kramer (figura 181). — Este telégrafo, muy usado, aunque no tanto como el de Siemens, en Alemania, con-

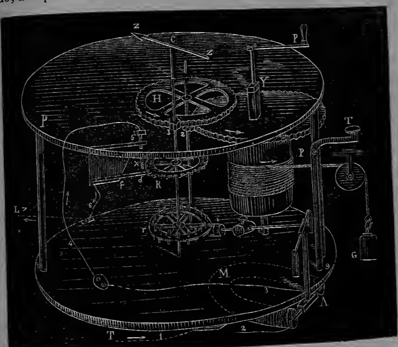


Fig. 181.

siste tambien en un teclado circular, que sirve á la vez de comunicador y de receptor. Como en el de Siemens, la aguja indicadora gira constantemente, hasta que una clavija puesta en juego por la tecla comprimida, detiene su marcha; pero en el telégrafo de Kramer no es el efecto de la ruptura y establecimiento del circúito eléctrico lo que hace marchar la rue-

da, sino un peso que pone en movimiento un mecanismo de relojería, en el cual hay dos piezas principales; una de ellas es una rueda de clavijas *r*, montada sobre el mismo eje que la aguja indicadora, y que la hace marchar de letra á letra por efecto de una horquilla de escape, con un contrapeso *i*, que se mueve á impulsos de este, para oponerse á la marcha de la rueda, y la deja libre por la accion del electro-iman *M*, que supera á la del contrapeso; cada atraccion y repulsion del iman determina, pues, dos movimientos de la rueda de clavijas. Para imantar y desimantar el electro-iman hay montada sobre el mismo eje que la rueda de clavijas una rueda dentada *R*, cuyos dientes, iguales en número á las clavijas, dejan escapar un resorte de acero *d f*, que va á tocar el tornillo metálico *X*, y cierra el circúito; por lo tanto pasa la corriente por el electro-iman, que atrae la armadura *A*, vence la accion del contrapeso *i*, la horquilla deja de impedir la marcha de la rueda de clavijas, que en su movimiento arrastra, pues están sobre el mismo eje, la aguja indicadora y la rueda dentada *R*, y esta última, al ponerse en movimiento, separa de *X* el resorte *d f*, para soltarlo un momento despues por efecto mismo de su marcha. La aguja seguiria recorriendo incesantemente el círculo de signos, si no se la detuviera en el que conviene, conforme dejamos ya explicado, es decir, apoyando sobre las teclas, que por medio de clavijas oponen un obstáculo á la marcha del mecanismo en el momento en que separado el resorte *d f* del tornillo *X*, se halla abierto el circúito principal de una estacion á otra y cerrado el de una pila local, por medio de un reótomo de que no hemos hecho mencion al explicar el aparato, para no complicar sus órganos esenciales.

Telégrafo de teclado de M. Froment. — Este aparato se diferencia de los demás por el comunicador, que tiene una disposicion particular; y así como los alemanes aseguran que el de Siemens es el mas perfecto que se conoce, los franceses sostienen que no hay ninguno que pueda compararse con el

de M. Froment; á pesar de eso, y de contar al presidente de la Comision de Telégrafos Eléctricos en el número de los que opinan que no hay otro tan sencillo ni tan perfecto, el telégrafo de teclado no está en uso en ninguna línea telegráfica.

Consiste en un teclado semejante al de un piano en que cada tecla tuviera su letra ó signo, y basta apoyar el dedo en una, para que la aguja del receptor se fije en el signo correspondiente.

Las teclas (figura 182) se mueven al rededor de un centro

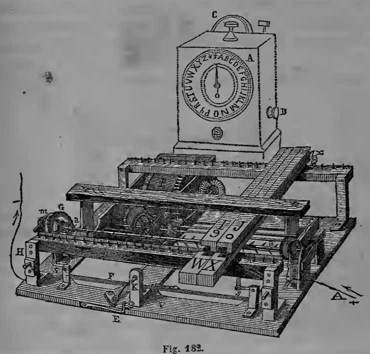


Fig. 182.

y tienen en su parte media un topecillo en forma de paleta, cuyo uso explicarémos despues.

Debajo del teclado hay un árbol de acero *a*, que tiene en *r* una rueda de escape, y en toda su extension un número de vástagos igual al de teclas, implantados en hélice, de modo que cada uno, cuando el árbol se pone en rotacion, puede

ser detenido por el topecillo correspondiente á la tecla que se ha bajado.

Hay en *B* una barra horizontal, que puede moverse paralelamente á sí misma, y que desciende cuando se pulsa alguna de las teclas, levantándose cuando se retira el dedo.

El árbol *a*, representado tambien en la figura 183, se mueve en sentido de la flecha por un mecanismo de relojería, y lo detiene un fiador *l*, que se interpone en los dientes de la rueda *r*.

Cuando se apoya el dedo en una de las teclas, baja, arrastra en su movimiento la barra *B*, se desengancha el fiador *l*, y permite dar vuelta al árbol *a*, hasta que el vástago correspondiente á la tecla que se ha bajado, viene á encontrar el topecillo, que se opone á su marcha.

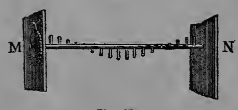


Fig. 183.

Si se baja otra tecla, dejando en libertad la primera, se produce un efecto semejante, y el árbol *a* describe un ángulo proporcional á la longitud de la hélice comprendida entre las dos teclas que han detenido sucesivamente el movimiento; de manera que si el árbol tiene un interruptor eléctrico que abra y cierre el circúito cada vez que pasa un diente de la rueda de escape, el efecto producido por este mecanismo sobre un circúito eléctrico, será idéntico al que produciria la rotacion de un círculo en que hubiera tantas señales como teclas en el aparato, pero con ventajas mucho mayores.

Siendo uniforme la rotacion del árbol *a*, y estando regulada segun el máximum de velocidad que permite el aparato receptor sin descomponerse, la correspondencia entre este último y el comunicador será perfecta, y se mantendrá así in-

dependientemente de la manera mas ó menos regular con que se pulse el teclado, con tal que se deje á la aguja el tiempo necesario para recorrer las divisiones del circúito; tiempo que es el menor posible, pues la uniformidad del movimiento permite regularlo para la mayor velocidad que cabe. Esto es tan exacto, que Pouillet dice en su obra lo siguiente: «Pásese la mano de un extremo á otro del teclado, de cualquier modo, las veces que se quiera, sin órden ni cuidado alguno, y apoyando en varias teclas á la vez, la correspondencia entre el receptor y el comunicador no deja de subsistir, y al colocar despues el dedo sobre una tecla, se verá que la aguja marca la letra correspondiente, como si se acabara de arreglar el aparato.»

M. Jacobi, de San Petersburgo, ha ideado y ejecutado tambien otro telégrafo de teclado; pero no conocemos sus detalles lo bastante para dar de él una idea exacta, y preferimos no hacer otra cosa que mencionarlo.

El profesor Gloesener, cuyo nombre citamos con encomio al hablar de los telégrafos de agujas, ha aplicado á los de muestra el mismo principio de invertir la corriente eléctrica en vez de interrumpirla; y sus telégrafos funcionan admirablemente en algunas líneas de Bélgica, donde se conocen con el nombre de su constructor Lippens, que tambien ha dado como suya la idea de valerse de corrientes electro-magnéticas, en vez de las de la pila.

En los telégrafos de Gloesener, cuyo comunicador y receptor suelen estar reunidos en una sola caja de 37 centímetros de lado por 15 ó 16 de altura, la primera de estas dos piezas, es decir, el comunicador ó manipulador está dispuesto, dice su autor, de manera que la corriente puede establecerse, interrumpirse y cambiar alternativamente su direccion; mandarla á los alambres de la línea, separarla de la tierra para volverla á hacer pasar por el aparato mientras se trasmiten señales; y por fin, dirigir en cualquier momento á un recep

tor inmediato, la corriente de la estacion que quiere hablar. Además, sin perder casi tiempo, le es posible al que recibe interrumpir al que trasmite cuando no ha comprendido una cosa.

Todo esto lo consigue Gloesener por medio de un inversor, cuya descripcion puede verse en las *Investigaciones sobre la telegrafía eléctrica*, pág. 49, así como las diferentes formas que ha dado á su manipulador. Nosotros aquí nos contentarémos con indicar que el inversor es semejante al interruptor del telégrafo de Breguet; pero como en vez de interrumpir, tiene que invertir la corriente, hay tres resortes que apoyan oportunamente en dos discos cuyas circunferencias se hallan divididas por dientes aisladores y conductores.

En cuanto á la forma del manipulador, ya hemos dicho que es muy variable la manera de trasmitir. Unas veces es un manubrio idéntico al de Breguet, que se mueve á mano y va colocándose en la letra correspondiente de la esfera; otras no tiene mas que dos teclas, que el telegrafista toca alternativamente y que hacen mover una aguja indicadora; ó bien, y es el medio mas perfecto adoptado por Gloesener, el manipulador es un teclado circular, como el de Siemens, en que un mecanismo de relojería ó un peso pone en movimiento el inversor, cuando al tocar la tecla correspondiente queda libre el escape.

Para interrumpir un despacho cuando no se ha comprendido, basta bajar una tecla especial que interrumpe la corriente, y el que trasmite lo observa en el multiplicador de su estacion.

Aunque sin objeto de que tenga aplicacion práctica por ahora, M. Gloesener ha resuelto el problema de hacer que la aguja de un telégrafo de muestra pueda marchar hácia adelante, hácia atrás y oscilar á voluntad del telegrafista. Es realmente un telégrafo de demostracion, como el de la página 482, que tiene en el eje de las agujas tres ruedas de escape en vez de una. Véase la descripcion en la citada obra de

Gloesener (*Recherches sur la Télégraphie électrique*, pág. 38).

Como en su telégrafo de agujas, M. Gloesener se sirve en este del aparato que llama brújula electro-magnética, análogo á otro que Breguet denomina telégrafo silencioso. En el de Gloesener oscila una aguja mientras pasa la corriente, y se detiene bruscamente en el momento en que se rompe, de manera que las estaciones intermedias pueden saber inmediatamente el momento en que terminan las comunicaciones directas; cuando en los telégrafos que hoy se usan en casi todas las líneas, es preciso fijar el tiempo que va á durar dicha comunicacion. M. Regnault, de Paris, ha propuesto con el mismo objeto otro aparato, que llama *comunicador*, y que describirémos en el capítulo XI.

El profesor Gloesener, que condena igualmente los sistemas de telegrafía usados en Francia y en Alemania, cree con razon haber remediado varios de los inconvenientes que tienen unos y otros, y algunos de los que son comunes á todos los telégrafos de muestra ó alfabeto, principalmente la falta de celeridad en la trasmision, que no es nunca tan grande como en los de agujas.

Sistema telegráfico de M. Regnard. — En una memoria publicada por M. Regnard, despues de haber visto la luz pública la del profesor Gloesener, se propone su autor utilizar en los telégrafos de alfabeto, y en general en todos los mecánicos, el paso de la corriente eléctrica en los dos sentidos, como sucede en los telégrafos de agujas.

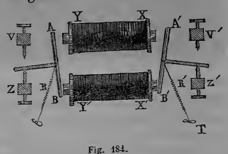


Fig. 184.

Para ello emplea dos armaduras imantadas dispuestas, como las representa la figura 184, á los extremos de un par de electro-imanes pareados, y en los cuales marcha la corriente en el mismo

sentido; por consiguiente, cuando una armadura es atraida por un electro-iman, es repelida por el otro, y la segunda armadura, cuyos polos están dispuestos en el mismo sentido que en la primera, ejecuta un movimiento siempre opuesto.

Para hacer marchar los aparatos telegráficos con corrientes muy débiles, M. Regnard adopta un sistema de doble escape, aplicable á toda especie de telégrafos electro-mecánicos; pero no lo describirémos, porque no es en suma sino un problema de mecánica, muy útil para una obra de telegrafía ó relojería eléctrica especial, pero extraño á nuestro propósito.

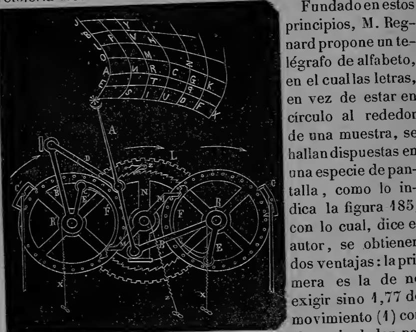


Fig. 185.

Fundado en estos principios, M. Regnard propone un telégrafo de alfabeto, en el cual las letras, en vez de estar en círculo al rededor de una muestra, se hallan dispuestas en una especie de pantalla, como lo indica la figura 185, con lo cual, dice el autor, se obtienen dos ventajas: la primera es la de no exigir sino 1,77 de movimiento (1) con el manipulador para la trasmision de cada letra, y además la de que el aparato recobra su primera posicion despues de cada señal, y los errores no se acumulan.

(1) Regnard llama *un movimiento* al que es necesario hacer para mandar la corriente una vez en un sentido; dos, cuando va una vez en un sentido y otra en otro.

La indicacion de las letras las hace una aguja *A*, articulada en su parte inferior en el brazo *B*, fijo á un cilindro hueco, que gira libremente al rededor del eje de una rueda de clavijas *R*; la aguja en su parte media está articulada en el brazo *B'*, dispuesto como el *B* sobre otra rueda *R'*, movidas ambas por dos mecanismos de relojería independientes y puestos en accion por las áncoras *C* y *C'*. Estas se hallan en comunicacion con las armaduras imantadas y los electro-imanes, que constituyen el sistema general de Regnard, y marchan la una á impulso de la corriente positiva, y la otra con la corriente negativa.

Un sistema de escapes convenientemente dispuestos hace que la rueda *R*, movida por la corriente positiva, coloque la punta de la aguja sobre cada una de las fajas horizontales, y la rueda *R'*, ó sea la corriente negativa, la hace pasar por las verticales. Basta, pues, como aparato comunicador, un inversor doble como el del telégrafo de agujas de Wheatstone; pero el autor dice con razon que puede adaptársele un teclado ó una especie de conmutador en forma de tablero con las letras del alfabeto, cuyo mecanismo describe.

La rueda de escape *N* y el balancin *M M* están destinados á hacer volver la aguja á su primera posicion cuando ha marcado una letra, para lo cual es necesario un tercer mecanismo de relojería que ponga en movimiento estas piezas. Deben ser pues las ventajas de tiempo y de seguridad muy grandes en este telégrafo, para compensar el inconveniente de la complicacion.

Los telégrafos de muestra, como ha podido verse, tienen todos un mecanismo mas ó menos complicado, que no es necesario en los de agujas; pero en cambio no necesitan mas que un alambre, y los signos, aunque fugitivos tambien, son mas perceptibles, y no exigen una instruccion prévia en el operador.

Los telégrafos franceses de alfabeto, si se exceptúa el de

Froment, tienen, como el primero de Wheatstone, el inconveniente de trasmitir las letras por medio de un manubrio que da vueltas con la mano al rededor de las letras ó signos. Froment, Kramer, Siemens y otros constructores alemanes han tratado de remediar este inconveniente con sus telégrafos de teclados, pero no se han visto libres de objeciones mas ó menos fundadas; el de Froment, dice Gloesener, es de simple escape, no tiene mecanismo de relojería, y se emplea en él un resorte de contra-accion; por consiguiente, no posee la velocidad de trasmision ni la sensibilidad que podria tener. Además, el teclado rectilíneo ocupa un espacio mayor que el teclado circular. En cuanto al juicio que emite sobre el telégrafo de Siemens, nos parece demasiado severo. «Además de los inconvenientes de la poca sensibilidad relativa y de la lentitud, dice, comunes á los demás telégrafos de muestra que se usan, presenta otros mayores; tales son: el de tener en cada receptor un resorte de reaccion, que ocasiona una resistencia y necesita un arreglo frecuente; tiene además conductores fijos y móviles, destinados á establecer y romper el circúito; y esos contactos, producidos por la sola accion de la corriente, no pueden ser sino imperfectos, aun en la suposicion de que los puntos de contacto sean inalterables por la corriente. En fin, añade, es casi imposible obtener una correspondencia perfecta en la marcha de los receptores colocados en dos estaciones lejanas.»

Nosotros, sin embargo, hemos visto funcionar el telégrafo de Siemens con una regularidad admirable, y si bien creemos que hay exageracion en el dictámen emitido por Pouillet sobre este telégrafo con respecto á la velocidad de trasmision y á su inalterabilidad, no creemos que con el principio en que se funda pueda dejar de perfeccionarse, y trasmitir con una velocidad mayor que la sexta parte de la que tiene el telégrafo de Morse, segun lo ha indicado M. Steinheil.

Hay, por otra parte, tal diferencia entre las especulaciones teóricas y los resultados prácticos, que nosotros, que estamos

muy dispuestos, fundados en las primeras, á creer con Siemens, que es una ventaja suprimir todo movimiento de relojería en los telégrafos, tendriamos que ceder ante los hechos si estos demostraran lo contrario. Desgraciadamente no se han hecho, como debian hacerse, ensayos verdaderamente comparativos entre los diferentes sistemas de telégrafos, pues todos trabajan en condiciones diferentes, y es casi imposible hoy decidir cuál ofrece mayores ventajas.

Telégrafo del gobierno francés.

Este telégrafo, que por la naturaleza de los signos que trasmite pudiera colocarse entre los telégrafos de aguja, pero que por su mecanismo corresponde mas bien á los de muestra ó alfabeto (y por esa razon no lo colocamos ni en una ni en otra clase), fué imaginado por M. Foy y construido por Breguet, para conservar los signos del telégrafo aéreo de Chappe, y fué adoptado por la administracion de los telégrafos del gobierno francés, para conservar el personal de las líneas telegráficas ya establecidas.

El receptor de este telégrafo es una caja, en la cual hay

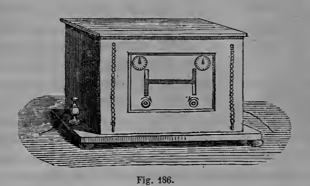


Fig. 186.

dos mecanismos de relojería, que como en los telégrafos de muestra, tienden á mover las agujas indicadoras montadas en los ejes de dos ruedas de ocho dientes, cuya marcha independiente es detenida en cada una por un áncora de escape

unida á la armadura de un electro-iman. No se diferencia pues del mecanismo que tantas veces hemos explicado, sino en que es doble, y la rueda no tiene mas que ocho dientes, lo cual proviene de que los signos telegráficos, en vez de ser letras escritas sobre una muestra, que van siendo indicadas por la aguja, consisten en las posiciones que toman dos de estas con respecto á una barra fija horizontal que une sus centros (figura 186).

Estas posiciones pueden ser ocho para cada aguja, y combinadas entre sí y con la barra horizontal, dan sesenta y cuatro combinaciones ó señales diferentes, semejantes á las del telégrafo óptico; lo cual permite trasmitir con mas rapidez que en los telégrafos de los caminos de hierro.

El manipulador es semejante al que hemos descrito en el telégrafo de muestra de Breguet (figura 187); se diferencia solo en que es doble, y el disco que servia allí para establecer é interrumpir la comunicacion del receptor con la pila, está aquí en cada mitad colocado verticalmente; por otra parte, no debiendo dar la rueda de escape mas que ocho pasos para completar una vuelta, basta interrumpir cuatro veces el circúito y establecerlo otras tantas, por lo cual, en lugar de tener un disco con tantas ondulaciones como letras, la rueda *R* de este manipulador tiene simplemente una garganta ó canal cuadrado con los ángulos redondeados, dentro del cual se mueve la roldana *r*, en que termina la palanca articulada *L L'*, y en cada vuelta completa del manubrio *M*, la corriente pasa cuatro veces por *C* y otras cuatro por *C'*. Las ocho ranuras que tiene el disco *D*, y en las cuales puede engancharse el

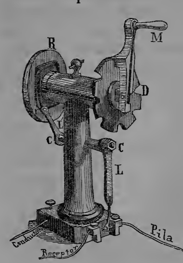


Fig. 187.

manubrio *M*, corresponden á las ocho posiciones de la aguja, y basta colocar aquel en cada una de ellas para que la aguja en la otra estacion se coloque bajo el mismo ángulo.

Este telégrafo, como ha podido observarse, necesita dos alambres y dos pilas, y el empleado trabaja con las dos manos á la vez, teniendo que dividir su atencion entre ambos manipuladores, de modo que en nuestro concepto, reune los defectos de los dos sistemas de telegrafía que llevamos explicados.

Al inconveniente de tener la complicacion de los telégrafos de muestra movidos por un manubrio, doblemente incómodo y poco seguro, pues son dos los manipuladores y los mecanismos de relojería, se añade el de necesitar dos conductores y dos pilas como en los telégrafos de agujas, cuya sencillez le falta.

Las señales son fugitivas como las de ambos sistemas; pero sin ser mucho mas claras que las que producen las agujas, tienen la desventaja de las de los telégrafos de alfabeto, y es, que la falta de correspondencia entre un signo del comunicador y del receptor produce la confusion de todos los que le siguen hasta que se arreglan los aparatos. No extrañamos, pues, la dureza del juicio emitido por el abate Moigno cuando examina este aparato en su *Tratado de telegrafía eléctrica;* y no creemos que sea ventajosa su aplicacion, aun con las modificaciones de Gloesener, que propone la supresion de los resortes de reaccion ó antagonistas, para sustituirlos con la paleta y los dos electro-imanes, que tan ventajosamente ha introducido en los telégrafos de alfabeto y en los de aguja.

En vista de las razones que preceden, no nos detendrémos á dar la descripcion de un telégrafo de esta especie, ideado por Breguet, que es mas bien una modificacion del que lleva su nombre y el de Foy; en él se propuso el constructor que la barra horizontal se moviera tambien y tomara exactamente todas las posiciones del telégrafo óptico de Chappe.

Telégrafos notadores ó gráficos.

Telégrafo de Morse.—Al recorrer la historia de la telegrafía, dijimos que Morse y Wheatstone se habian disputado la gloria de haber ideado el primer telégrafo aplicable á grandes distancias, gloria que corresponde tambien á Stheinheil de Munich; pero sea ó nó cierto que Morse tuvo la primera idea de su telégrafo en 1832, lo que hay de positivo es que ninguno puede disputarle la palma de la sencillez, de la perfeccion y de la rapidez reunidas; así es que aplicado primero á casi todas las líneas de los Estados-Unidos de América, ha empezado á extenderse ya por Europa, y así como el gobierno francés y el español se han resuelto ya á abandonar respectivamente los telégrafos de Foy y de Wheatstone, no tardarán en seguir su ejemplo, adoptando el de Morse, las demás naciones que hoy se valen de otros sistemas.

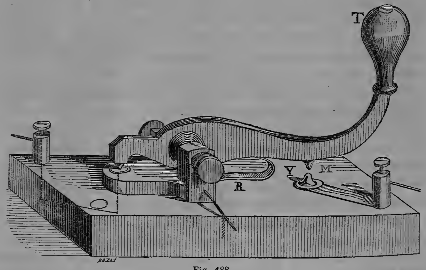


Fig. 188.

El telégrafo de Morse se compone, como todos, de un manipulador y un receptor, y ambas partes del aparato son de lo mas sencillo que puede imaginarse; si bien al receptor se

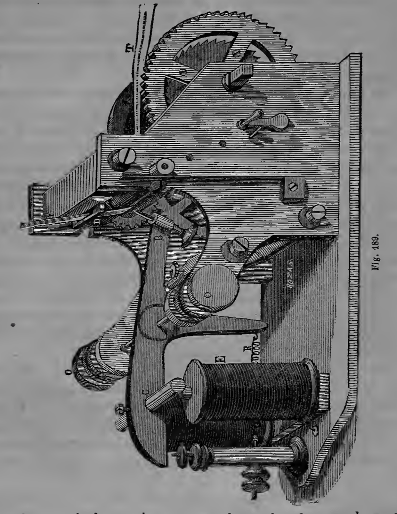
le ha añadido un mecanismo de relojería y un *relevo*, piezas ambas muy interesantes, pues sin ellas ni podria trabajarse á grandes distancias, ni se obtendrian los signos marcados con regularidad; pero no son al fin mas que aparatos accesorios que no se necesitan para darse cuenta de la marcha del telégrafo; no los darémos á conocer por consiguiente sino despues de describir las partes principales y la manera como funciona el aparato.

El manipulador ó llave (figura 188), destinado únicamente á establecer y á interrumpir el circúito, se compone de una pieza metálica *M*, que se mantiene separada de otra *Y* por medio del resorte *R*. El alambre conductor, pues no se necesita mas que uno, que va de la pila de una estacion al receptor de la otra, se halla interrumpido por dicho manipulador, de modo que uno de los extremos de la interrupcion comunica con la pieza *M* y otro con la *Y;* basta, pues, apoyar sobre el mango *T*, para que juntándose las dos piezas *M*, *Y*, se establezca el circúito, y en cuanto deje de apoyarse, el resorte *R* levantará la *M*, y el circúito queda interrumpido; si el contacto dura un momento nada mas, la corriente no pasará mas que ese instante, y por el contrario seguirá pasando por un espacio de tiempo sensible, si se mantiene la mano sobre el mango *T*.

El receptor consiste en un electro-iman *E* (figura 189), cuya armadura *C* se halla al extremo de una palanca movible sobre un eje *O O*. En el otro extremo de la palanca hay fijo un lápiz ó punzon *B* destinado á hacer impresiones sobre una tira de papel, y el resorte *R* sirve para mantener la armadura á cierta distancia de los polos del electro-iman, cuando la corriente no pasa por él.

Una larga tira de papel *T S*, arrollada en un cilindro que no se ve en la figura, pasa por otro cilindro *D*, arrastrado por el mecanismo de relojería *X*, aunque pudiera muy bien hacerse á mano, si no fuera mas costoso é irregular. La punta *B* no apoya sobre el papel del cilindro *D* en las condiciones

ordinarias del aparato, es decir, cuando la armadura se mantiene separada del electro-iman por la accion del resorte *R*; pero en el momento en que se cierra el circúito y la corriente


Fig. 189.

circula por el electro-iman, este obra sobre la armadura, y la punta *B* se apoya sobre el cilindro *D*, haciendo una señal mas ó menos larga, segun el tiempo que circule la corriente.

Si se establece pues una serie de contactos muy cortos con el manipulador, resultarán en el papel una sucesion de puntos; si los contactos son largos, en vez de puntos resultarán líneas. La combinacion de estos puntos y líneas son los signos telegráficos de este aparato, cuyo alfabeto damos á continuacion:

.–	.–.–	–...	...	–..	.	..–..	.–.	––.	....	..
a	*ä*	*b*	*c*	*d*	*e*	*é*	*f*	*g*	*h*	*i*
.–.–	–.–	.–..	––	–.	..	–––.	.....	..–.	.–.	
j	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*ö*	*p*	*q*	*r*	
...	–	..–	..––	...–	.––	.–..	....	....	––––	
s	*t*	*u*	*ü*	*v*	*w*	*x*	*y*	*z*	*ch*	
....	.––.	..–..	...–.	....–	.....	......	––..			
&	1	2	3	4	5	6	7			
–....	–..–	–								
8	9	0								

Se comprende bien cuan fácil es obtener estos signos, y la rapidez con que un empleado, práctico ya, puede manejar el manipulador. Los signos pueden y deben variar segun la índole de la lengua, para obtener la mayor rapidez posible, aplicando los mas cortos á las letras mas repetidas.

Cuando empezó á usarse el aparato de Morse entre dos estaciones lejanas directamente, se notó que la corriente producida por la pila de la estacion de partida no bastaba para atraer con la regularidad necesaria la armadura unida á la palanca, y Morse empleó entonces el aparato llamado *relevo*, cuya invencion pretenden él y Breguet, aunque ni uno ni otro tienen derecho á la prioridad; porque Wheatstone fué el que realmente imaginó, en 1837, poner en accion una segunda pila por medio de la corriente producida por otra pila colocada á cierta distancia.

No nos detendrémos á describir los primeros relevos que empleó Wheatstone para obtener el efecto que deseaba; baste decir que su primer ensayo se fundaba en una reaccion química, y el segundo, con mejor resultado, en la desviacion de la aguja de un multiplicador, que al separarse de la ver-

tical, introducia uno de sus extremos, armado de una horquilla, en dos copas que contenian mercurio, quedando por consiguiente en comunicacion metálica la una con la otra.

Los relevos que hoy se usan están fundados en la propiedad de los electro-imanes, de atraer una armadura, que al cambiar de posicion, pone en comunicacion metálica ó interrumpe el circúito de una pila que se llama *local*. La forma y disposicion de los relevos puede variar extraordinariamente, como se manifiesta en la obra de Du Moncel, que tantas veces hemos citado, y de la cual tomarémos, para hacer comprender el mecanismo, la descripcion de uno de los relevos mas sencillos y mas apropiados para los usos de la telegrafía.

Concíbase en la estacion en donde debe instalarse el relevo, un electro-iman *A B* (figura 190), cuya armadura *C D* esté en relacion con uno de los polos de la pila local ó suplementaria, mientras que el alambre que lo constituye forma parte del circúito principal, cuya pila se halla en otra estacion; se comprenderá que cada vez que el circúito principal se cierre, la armadura *C D* será atraida, y bastará poner en *E F* un resorte en comunicacion con el segundo polo de la pila local, para que se cierre el circúito de este simultáneamente con el principal, pues la armadura metálica establece la comunicacion de los dos polos; el resorte *r* sirve para separar la armadura, y abrir por consiguiente el circúito local en el momento en que deja de pasar la corriente por el principal.

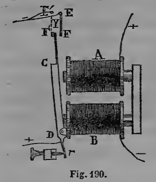


Fig. 190.

El telégrafo de Morse, que acabamos de dar á conocer, tiene la incomparable ventaja de dar escritos sobre un papel los signos que los telégrafos de agujas y de muestra no hacen mas que indicar, con lo cual no solo hay la seguridad de conservar fielmente escrito el despacho, sino que el telegrafista

que recibe puede muy bien ocuparse en otra cosa mientras se trasmite un largo despacho, siempre que el cilindro en que está arrollado el papel tenga una cantidad suficiente de este.

Basta hacerse cargo de la manera con que se trasmiten los signos por medio del comunicador, para comprender la rapidez con que un empleado práctico puede trasmitir un despacho; rapidez que se debe tambien á la independencia de unos signos con respecto á otros; de suerte que como en los telégrafos de agujas, no hay el inconveniente que tienen los de muestra, de producir confusion por la falta de correspondencia de los signos en una y otra estacion. Un buen telegrafista trasmite de quince á diez y siete palabras por minuto, es decir, lo que puede escribir con la pluma un hombre acostumbrado á manejarla.

Si á eso se añade que el mecanismo del telégrafo de Morse es sumamente sencillo, y que no necesita mas que un alambre conductor, se verá que á las ventajas que le son peculiares, reune las de todos los que hemos examinado hasta aquí.

Modificaciones del telégrafo de Morse por M. Gloesener. — Este sábio físico ha conseguido hacer algunas modificaciones interesantes y ventajosas, entre las cuales la principal es, sin disputa, la supresion del resorte de reaccion, fundada en las mismas razones y valiéndose de medios análogos á los que hemos dado á conocer al tratar de sus modificaciones en los telégrafos de agujas y de muestra. El comunicador de M. Gloesener está por consiguiente dispuesto de manera que cambia la direccion de la corriente en vez de interrumpirla, por medio de dos contactos, produciendo dos signos en cada oscilacion en vez de uno solo; de suerte que contribuye, así como la supresion del resorte, á aumentar la rapidez de la trasmision.

Al mismo comunicador, con otra disposicion, se le puede imprimir un movimiento de rotacion y de vaiven; de suerte que sin aumentar la fuerza de la pila, se trasmita á la vez el mismo despacho á dos estaciones diferentes, ó permita que-

darse con copia y trasmitirlo al mismo tiempo á otra estacion.

No pudiéndonos detener á explicar los detalles de las modificaciones del profesor Gloesener, recordarémos la lectura de sus *Investigaciones sobre la telegrafía eléctrica*, donde las describe con detencion. No terminarémos, sin embargo, este párrafo sin decir que uno de los cambios hechos en el telégrafo de Morse, es el punzon con que este graba, por decirlo así, las letras en el papel. M. Gloesener, despues de muchos ensayos, se ha decidido á sustituir el punzon con un cono hueco de cuero, pequeño, que absorbe la tinta de un vaso, en donde se sumerge la punta opuesta á la que sirve para marcar. Hemos visto funcionar el aparato, que marchaba perfectamente; pero no sabemos si habria ventaja en adoptar la modificacion, pues ya Morse habia empezado por usar tinta y lápiz, y tuvo que abandonar ambas cosas, porque el lápiz se gastaba y cuando el aparato permanecia sin trabajar algun tiempo, la tinta se evaporaba, dejando en la pluma un sedimento.

Entre los varios telégrafos que se han construido, á semejanza del de Morse, merece citarse el de Palmieri, en que el comunicador está formado por un cilindro, en cuya cara anterior se hallan trazadas las letras y números, como en los telégrafos de muestra.

M. Paul Garnier ha presentado en la exposicion de Paris de 1855 una modificacion del cilindro de Palmieri, que es el verdadero complemento del telégrafo de Morse, y M. Mouilleron ha hecho tambien varias modificaciones, entre las cuales merece citarse la de los cilindros que hacen correr la tira de papel.

Con el sistema de M. Mouilleron no es indispensable que la tira se recorte con igualdad, porque siempre corre derecha por la forma que ha dado á los rodillos. Tambien propone la sustitucion de un electro-iman al movimiento de relojería que hace marchar los rodillos.

Mr. Stöhrer, hábil mecánico de Leipsig, ha tratado de perfeccionar el telégrafo de Morse, reemplazando el punzon único de este aparato por un sistema de puntas dobles, que funcionan alternativamente y dan dos séries de puntos ó de líneas situadas en dos filas horizontales superpuestas, como en el de Stheinheil. El relevo que emplea se compone de dos imanes, dos armaduras de hierro y un electro-iman, poniendo en movimiento los dos punzones por medio de dos electro-imanes y dos llaves ó manipuladores, de modo que el telegrafista opera á voluntad con una ú otra de las últimas, aunque nunca con ambas á la vez.

Este sistema, si bien algo complicado, tiene la ventaja de que puede usarse dos veces el mismo signo con distinto valor, segun la línea en que esté; se abrevian por lo tanto los signos del alfabeto de Morse, pero no se trasmite con la misma velocidad en el manipulador. En las líneas telegráficas de Sajonia se halla planteado este sistema.

Telégrafo notador de Froment. — M. Froment ha construido tambien un telégrafo bajo el mismo principio que el de Morse, sin que difiera esencialmente de aquel en otra cosa, sino en que el electro-iman obra sobre una armadura que gira al rededor de un eje vertical, y los signos presentan rasgos horizontales y paralelos á la direccion del movimiento de la armadura. Conserva el lápiz que desechó Morse, porque lo coloca de modo que está afilándose sin cesar, y se mantiene siempre en disposicion de servir, sin la intervencion de ningun empleado. «El lápiz, decia Pouillet en su informe á la Academia de Ciencias de Paris, se mueve directamente por la accion de un electro-iman, y puede hacer hasta tres ó cuatro mil vibraciones por minuto.»

Para trasmitir el despacho, M. Froment lo compone con signos telegráficos recortados sobre una tira de papel, por medio de una máquina especial, y así preparada, la introduce en el comunicador. Este consiste en un simple resorte en re-

lacion con una de las ramas de la corriente y dispuesto de manera, que no deja subsistir la accion eléctrica sino cuando el resorte se halla en contacto metálico con la rueda, sobre la cual resbala por entre los agujeros de la tira de papel; basta pues mover esta tira, con una velocidad en relacion con la del tambor receptor de la estacion opuesta, para que se obtenga el número de interrupciones necesarias á la impresion del despacho.

Telégrafo de M. Dujardin. — Se compone esencialmente de tres aparatos. El primero, que sirve para producir la corriente, es la máquina electro-magnética que dimos á conocer en el capítulo v. El segundo es el telégrafo propiamente dicho, que tiene una gran analogía con el de Morse, solo que el papel se arrolla sobre un cilindro de una manera particular, y una pluma, de forma tambien especial, traza sobre él las rayas y los puntos cuando pasa la corriente, como hemos visto ya. El tercero de los aparatos que constituyen el telégrafo de M. Dujardin sirve para llamar la atencion de los empleados y para producir un sonido en un timbre de cristal cada vez que se interrumpe ó que se establece la corriente, como sucedia en el telégrafo gráfico y fonético de Steinheil, del cual no es en realidad mas que una modificacion perfeccionada, aunque en nuestro concepto menos práctica que el aparato de Morse, por su complicacion.

M. Regnard, aplicando su principio á los telégrafos notadores, ha ideado un aparato con el cual cree poder remediar dos inconvenientes del telégrafo de Morse, el de tener que emplear una pila local y el de la confusion y lentitud que exigen, segun él, la formacion de sus signos. En el telégrafo de Regnard, que no nos detendrémos á describir, se producen los signos, como en el de Steinheil, por medio de dos lapiceros ó plumas, que trazan en dos líneas diferentes una série de rayas verticales y horizontales (figura 191), en que solo las verti-

cales tienen valor; la combinacion de las de la línea superior con las de la línea inferior forma las letras.

Fig. 191.

Fundado siempre en el mismo principio, y sin cambiar en la construccion del aparato mas que la manera de recibir las señales, M. Regnard propone un telégrafo electro-fónico. «Bastaria, dice, sustituir á las dos palancas en que se ponen los lápices, dos láminas flexibles, con dos martillos pequeños en los extremos.» Nada en efecto es mas factible, y la prueba de ello es, que ya Steinheil lo habia hecho en su telégrafo, construido en 1837, con la diferencia de que obtenia la notacion y los sonidos con el mismo aparato y en correspondencia perfecta, de suerte que servia una cosa como comprobante de la otra.

Telégrafo de M. Tremeschini. — Este telégrafo, que no conocemos sino por las noticias que vamos á extractar, ha sido comprado, dicen, por Breguet, que se propone emplearlo en las nuevas líneas de caminos de hierro que se encargue de organizar, y si este hecho es cierto, basta para probar que son ciertas las ventajas que se le atribuyen.

Segun parece, es extremadamente sencillo y de fácil manejo. Da segun se quiera las señales fugitivas en un alfabeto circular ó las impresiones permanentes y en seco sobre una tira de papel; es decir, que reune los sistemas de Wheatstone y de Morse; y al mismo tiempo ofrece la ventaja de indicar las faltas que puedan haberse cometido, por medio de señales fijas, que el instrumento marca espontáneamente de trece en trece señales.

La fuerza electro-motriz que exige este telégrafo no es mayor que la que requiere un telégrafo de alfabeto ordinario, y no necesita relevos ni pilas locales, como el de Morse.

Su alfabeto es mas fácil de aprender y de leer que el de este último, y se marcan los signos con mas claridad.

Por último, el precio del telégrafo de Tremeschini es la tercera parte que el de un aparato de Wheatstone, y su volúmen puede reducirse de manera, que sirva de telégrafo portátil en campaña y en expediciones científicas.

Los aparatos de Morse, añade *El Cosmos*, de donde tomamos estas noticias, pueden trasformarse en telégrafos del nuevo sistema á muy poca costa.

Telégrafos tipográficos.

El primero que consiguió imprimir los despachos trasmitidos de una estacion á otra, por medio del mismo telégrafo, que hasta entonces no habia hecho mas que presentar ó indicar las letras, fué Wheatstone, por mas que Vail reclame para sí esta gloria; y lo consiguió sustituyendo al disco de papel de su telégrafo de muestra, un disco delgado de cobre ó de bronce, dividido del centro á la circunferencia en veinte y cuatro sectores, dispuestos de manera que cada uno formaba un resorte, sobre cuyas extremidades se colocaban los caractéres de relieve. Un mecanismo adicional, con un escape que se ponia en movimiento por un electro-iman, obligaba á un martillo á que apoyase la letra contra un cilindro, al rededor del cual se enrollaban varias capas alternativas de papel blanco y de papel rojo ó negro, de calcar; así se obtenia, sin crear ninguna resistencia nueva en la rueda motriz, cierto número de copias impresas del mensaje trasmitido.

Telégrafo de Mr. Bain.—Algunos pretenden que el primero que ha aplicado la telegrafía eléctrica á la impresion de los despachos ha sido Mr. Bain, que construyó en 1843 un telégrafo de esta especie, que no necesitaba mas que un solo alambre conductor, pero verdaderamente su telégrafo no diferia del de Wheatstone, sino en que hacia la impresion del despacho por medio de un segundo disco indicador, que se

apretaba contra el papel untado de negro de humo. Posteriormente ha variado la disposicion en la forma que vamos á dar á conocer ligeramente.

Como en los telégrafos franceses de alfabeto, un mecanismo de relojería es el que pone en movimiento el aparato; pero en vez de servirse de un electro-iman para hacer marchar el mecanismo, M. Bain ha utilizado la reaccion de un haz magnético sobre un cuadro galvanométrico, que lo rodea. Los aparatos son idénticos en todas las estaciones, y el movimiento de los mecanismos de relojería es sincrónico en todos, cuando el escape se hace partir al mismo tiempo; se comprende pues que si el interruptor de la corriente está dispuesto de manera que el fiador de la rueda que lleva la aguja indicadora sea el que interrumpa la corriente cuando aquella se halle frente al signo que se quiere trasmitir, todas las agujas de los diferentes aparatos se detendrán delante del mismo signo; y si el mecanismo se combina de manera que haga dar vueltas en la misma proporcion á un tambor sobre el cual se hallen soldadas las veinte y cinco letras del alfabeto en relieve, será fácil hacer llegar frente á un punto fijo la letra que se quiere imprimir.

Al lado del cilindro ó tambor en que están los caractéres en relieve, que se llama la *rueda de los tipos*, sobre un eje que tiene una rosca sin fin, hay montado otro tambor revestido con una hoja de papel. Del lado opuesto al de la rueda de los tipos hay otro mecanismo de relojería, que se llama mecanismo impresor, cuyo escape no se suelta sino cuando el movimiento del primero se detiene, y entonces por medio de un excéntrico, da un movimiento de impulsion á una palanca angular que obra por presion sobre la rueda de los tipos. Resulta de esta disposicion, que en el momento en que la letra en relieve que se quiere trasmitir se detiene delante del tambor cubierto de papel, el mecanismo impresor se pone en juego, la palanca angular aprieta fuertemente la rueda de los tipos contra el papel, y si hay delante de este una

hoja de papel ennegrecido, la letra queda marcada. Durante este movimiento, el regulador de fuerza centrífuga, que ha puesto en libertad el escape del mecanismo impresor y recibe su movimiento del mecanismo de la rueda de los tipos ó sea del telégrafo propiamente dicho, vuelve á quedar sin accion y detiene el movimiento del mecanismo impresor, por medio de un segundo fiador, hasta que puesto en marcha otra vez, abandona este fiador, para oponer el primero, y entonces el excéntrico vuelve á ejercer una nueva presion.

Si el tambor sobre el cual se halla la hoja de papel engrana con un piñon movido por una rueda de escape con su fiador, en relacion con la palanca angular, cada golpe de prensa hará avanzar la superficie del tambor el intervalo de una letra, y como la rosca sin fin le da un movimiento de traslacion al mismo tiempo que se verifica el de rotacion, las palabras del despacho quedarán impresas en espiral sobre la superficie del cilindro del papel.

Telégrafo de Siemens.—En el telégrafo de muestra que hemos explicado en la pág. 492, ha añadido su autor un mecanismo bastante complicado para imprimir los despachos, cuyo principio es el mismo que le ha servido de base para su telégrafo de alfabeto; pero en lugar de aguja, el eje de la rueda de escape tiene la rueda de tipos que hemos explicado en el párrafo anterior, que si se recuerda bien es semejante á la del telégrafo de muestra de Wheatstone. Esta rueda de tipos está dividida en tantos sectores, formando resortes, como signos hay en la esfera del telégrafo, y cada uno tiene un punzon. En el movimiento de la rueda, la letra correspondiente á la que va indicando la aguja en otra esfera se encuentra precisamente sobre un martillo. Por cima de la rueda hay un rodillo entintado, entre el cual y el punzon pasa la tira de papel en que se ha de imprimir. Todo está pues en hacer que cada vez que se baja una tecla del comunicador, el martillo dé su golpe de abajo arriba, para lo cual

hay en el aparato un segundo electro-iman de gran poder, que se llama *iman impresor*, cuyas hélices están en relacion con una pila local.

No nos detendrémos á explicar cómo la armadura del iman impresor hace dar vueltas al rodillo de entintar, ni en las demás particularidades del aparato; porque seria demasiado largo, y nuestro objeto no es mas que dar á conocer el principio en que se funda; sin embargo, como la condicion mas difícil de llenar en estos telégrafos es la de hacer obrar el mecanismo impresor cuando la letra designada se ha presentado, y no antes, dirémos que Siemens lo ha conseguido, construyendo su *electro-iman impresor* de manera que no se imante suficientemente para actuar sino cuando ha pasado un intervalo de tiempo apreciable despues de cerrar el circúito. En las obras de Moigno y de Schellen puede verse la descripcion completa de esta parte del telégrafo de Siemens, no menos ingeniosa por cierto, aunque tal vez menos segura, que la correspondiente al alfabeto que se emplea en los caminos de hierro, y hemos explicado con mas detencion.

Telégrafo tipográfico de Brett. —Este telégrafo, opinan algunos que es el mas perfecto de los que se han ideado para imprimir los despachos, y seguramente mereceria que diéramos su descripcion completa para hacer conocer todo el ingenio con que se ha construido; pero seria demasiado largo, y volvemos á recomendar para esto la obra del abate Moigno, contentándonos con extractar la reseña que de él hace Du Moncel en sus *Aplicaciones de la electricidad*.

Como en los de Bain y Siemens, la rueda de los tipos y la palanca impresora se ponen en marcha por mecanismos de relojería especiales, dispuestos de manera que el movimiento de la palanca de impresion lo produce la rueda de los tipos, que se mueve á su vez por la accion de un electro-iman interpuesto en el circúito de la línea; accion que se ejerce sobre un áncora de escape cuya rueda no es otra que la misma

de los tipos. Estos son de acero y están soldados al rededor de la rueda, en cuyo exergo están implantadas unas clavijas, que son las que sirven para el escape.

El cilindro en que está colocado el papel se halla fijo á un eje horizontal, que tiene una rosca sin fin, para obtener el mismo efecto que indicamos al hablar del telégrafo de Bain. Este cilindro, colocado á corta distancia de la rueda de los tipos, que es vertical, puede por medio de dos bielas con excéntricos apretarse contra ella, y recibir así la impresion del tipo que se presenta en aquel momento. Tanto el movimiento de vaiven del cilindro, como el mecanismo para que corresponda exactamente el paso de cada letra en su punto de tangencia con la rueda de los tipos, ha exigido una porcion de precauciones, que M. Brett ha sabido tomar en consideracion y resolver con una sencillez admirable; no lo describirémos sin embargo, así como tampoco la disposicion adoptada para que no haya impresion al paso de cada letra, sino solo cuando quiera señalarse, porque seria confuso sin una figura; nos contentarémos con indicar que se sirve para eso de un aparato hidráulico, que llama *gouverneur*, y que nosotros podriamos denominar *regulador*, cuyo objeto es facilitar el movimiento de ascenso y hacer muy lento el de descenso de una palanca que comprime el cilindro del papel contra la rueda de los tipos.

El comunicador del telégrafo de Brett ha recibido varias formas de su autor. Fué primero un teclado como el de Froment, y despues lo ha cambiado por un interruptor circular móvil, como los que se emplean comunmente en los experimentos de demostracion, es decir, una rueda cuya circunferencia está dividida en tantas partes como signos, pero que son alternativamente aisladoras y conductoras.

El aparato avisador ó repique forma parte del receptor, y es sumamente sencillo, pues consiste en un timbre, cuyo martillo se pone en movimiento por un tope, como los de los molinos harineros.

M. Brett ha modificado y perfeccionado repetidas veces su telégrafo, y llama particularmente la atencion sobre el órden de colocacion que ha dado á las letras al rededor de la rueda de los tipos, necesaria para abreviar la trasmision de los despachos, pues en la lengua inglesa, y mas aun en la alemana, se presenta, por ejemplo, tres mil veces la letra *E*, mientras la *Z* no aparece mas que una. El telégrafo de Brett es el conocido en los Estados Unidos con el nombre de telégrafo de House.

Telégrafo de Freytel. — Este telégrafo, que ha figurado en la exposicion universal de 1855, no imprime el despacho en una tira de papel mas ó menos larga, sino en una hoja con líneas superpuestas.

Se funda en que un electro-iman que tiene dos armaduras con resortes antagonistas de distinta fuerza, puede obrar sobre una de ellas con una corriente de cierta intensidad, sin que mueva la otra. Partiendo de este principio, M. Freytel divide su pila en dos partes; hace obrar una sola sobre el mecanismo telegráfico, y las dos juntas sobre el mecanismo impresor, que funciona directamente sin rodaje.

M. Theiler, relojero del canton de Schwitz, ha inventado y construido un telégrafo tipográfico, que ha merecido los mayores elogios de una comision, compuesta de De La-Rive, Colladon, Wartman y otras personas entendidas.

El aparato tiene un teclado, compuesto de tantas teclas como signos, y comunica por medio de un solo alambre con la estacion de recepcion. En esta hay un mecanismo destinado á la impresion de los despachos, por medio de dos ruedas provistas de signos de relieve en su periferia, que se entintan incesantemente al pasar delante de un rodillo de imprenta, y que se bajan en el momento preciso para estampar en el papel el signo deseado.

El mecanismo del manipulador tiene cierta analogía con el

inventado y ejecutado por M. Froment; pero difiere esencialmente de este en que basta abrir y cerrar el circúito una sola vez para la formacion de cada letra ; el juego de las teclas está combinado con un mecanismo de movimiento uniforme y exactamente igual en rapidez al que ejecuta otro mecanismo situado en el receptor, de suerte que en vez de haber una série de interrupciones y otros tantos establecimientos de circúito que ponen en comunicacion las ruedas impresoras con las teclas, aquí es un mecanismo con un escape, que asegura la uniformidad.

Despues de enumerar algunas de las modificaciones que M. Theiler puede hacer en su telégrafo, los individuos de la comision terminan diciendo : « En suma, este telégrafo, como todos los tipográficos, tiene la ventaja de no encomendar nada á la habilidad ni á la atencion del telegrafista ; y presenta además varias combinaciones mecánicas muy ingeniosas, entre las cuales nos complacemos en citar :

1.ª La aplicacion del escape libre al juego del receptor.

2.ª La disposicion, por medio de la cual se reducen á dos las partes del conmutador que actúan para la trasmision de cada letra.

3.ª El mecanismo que arma espontáneamente el resorte que manda al rodillo en que se mueve la tira de papel continuo.

4.ª El artificio por medio del cual el intervalo de una letra á otra permanece constante y al abrigo de toda impresion.

Telégrafo tipográfico de M. Dumoulin.— M. Dumoulin, hábil constructor, que se ha distinguido en la exposicion de 1855 por haber presentado algunos aparatos muy ingeniosos, ha construido un telégrafo tipográfico, que merece figurar al lado de los que hemos citado.

El comunicador y el receptor se hallan en una misma caja, ó por mejor decir, cada aparato sirve de comunicador y de receptor, y como en el de Theiler, basta para la impresion de

cada letra establecer é interrumpir una sola vez el circúito.

Hay en el aparato un mecanismo de relojería, que sirve á la vez para mover algunas piezas del receptor y del comunicador. La parte principal de este se halla representada en la figura 192. Consiste en una plancha de madera, donde hay treinta y dos láminas metálicas, correspondientes á igual número de teclas, con que se señalan é imprimen doble número de signos, segun verémos. Estas láminas se ponen en contacto con uno de los polos de la pila cuando se baja la tecla correspondiente, que la toca con un apéndice elástico de cobre plateado, y cada una de ellas comunica con uno de los treinta y dos resortes que en forma de rayos rodean el agujero circular que hay en medio de la plancha de madera. Todos los resortes apoyan contra el disco de laton *D*, que se halla en contacto con el otro polo de la pila, despues que la corriente ha atravesado las piezas correspondientes del receptor en la otra estacion. Sabemos, por consiguiente, cómo se establece el circúito; pero falta decir cómo se interrumpe sin levantar la tecla cuando lo exige la marcha del aparato. El disco *D*, que gira á impulsos de un mecanismo de relojería, tiene embutido un pedacito de marfil, que á medida que gira va pasando por bajo de los resortes que comunican con las planchas, y al llegar á la que trasmite la corriente, esta se encuentra interrumpida. Vamos á ver ahora el efecto que produce en el receptor el establecimiento y la interrupcion del circúito, para lo cual nos valdrémos de una figura arbitraria, que no representa sino la posicion de los órganos esenciales del receptor (figura 193).

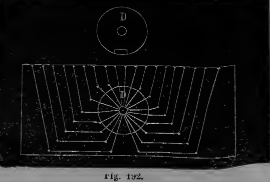


Fig. 192.

La corriente de la pila, que atraviesa el comunicador, pasa en el receptor por el electro-iman *E* de un relevo, cuya armadura *A*, segun es atraida ó no, puede hacer pasar la cor-

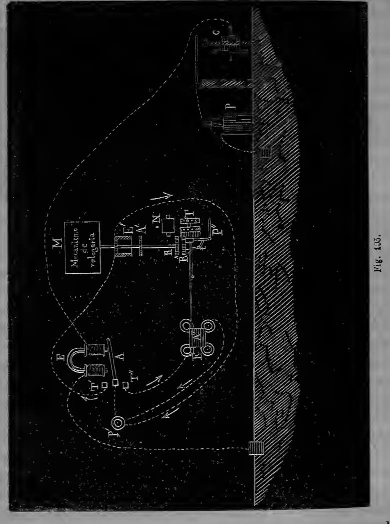


Fig. 193.

riente de la pila local por un circúito distinto, atravesando diferentes piezas del aparato. Cuando se baja una tecla y la corriente pasa, la armadura del relevo es atraida por el

electro-iman, toca el tornillo *T'*, y la corriente de la pila local pasa por el circúito *P'*, *T'* y *E'*, siguiendo la direccion de las flechas; en *E'* imanta el hierro dulce de un iman circular, que gira á impulsos del mecanismo de relojería *M*, atrae hácia sí la armadura *A'*, que es una rueda tambien de hierro dulce, montada sobre el mismo eje que la rueda *R*, ambas siguen el movimiento rotatorio del electro-iman circular, y arrastran en él á la rueda de los tipos *T*, que gira todo el tiempo que dura el paso de la corriente. Pero en el momento en que la pieza de marfil del comunicador interrumpe el circúito principal, la armadura *A* del relevo deja de ser atraida y se separa del tornillo *T'* para ponerse en contacto con el *T''*, y entonces la corriente de la pila local pasa por el circúito *P' T'' E''*; el hierro del electro-iman circular se desimanta, la armadura *A'* se separa y deja de seguirla en su movimiento, así como la rueda *R* y la de los tipos *T*, que queda fija, presentando la letra designada delante del papel y la prensa que se hallan en *P''*. Hemos dicho que la corriente de la pila local pasaba al circúito *P' T'' E''*, en el cual atraviesa las espiras del electro-iman *E''*, cuya armadura *A''* se pone en movimiento, produciendo dos efectos: el primero, antes de llegar al término de su curso, consiste en arreglar bien la posicion del tipo delante de la prensa, para lo cual obra sobre una palanca terminada por la pieza triangular *t*, que entra exactamente en el espacio triangular correspondiente de la rueda *R''*; el segundo efecto es el de apretar la prensa *P''* contra la rueda de los tipos, y como el papel pasa entre ellas, queda estampada la letra.

Tal es el mecanismo esencial del telégrafo de Dumoulin. Tiene una multitud de detalles y accesorios á cual mas ingeniosos, como es el de hacer repetir los signos sobre una muestra por una aguja puesta en relacion con la rueda *R*, y como el mecanismo de relojería no la mueve en el comunicador sino despues que la corriente ha atravesado el receptor, sirve al empleado que trasmite, para saber que ya está impresa la le-

tra, y que ha sido realmente la que queria imprimir, y al empleado que recibe para ir leyendo; lo cual puede servir en algunas ocasiones, como cuando es un despacho urgente y no se quiere esperar á leer lo impreso; cuando la tinta de la rueda N se ha secado demasiado y no marcan bien los tipos; cuando se ha acabado ó roto el papel, y no se quiere perder tiempo para poner otro; en fin, es un verdadero comprobante. M. Dumoulin pone dos séries de tipos iguales para obtener dos despachos idénticos, de modo que puesto el sello en ambos, y separados despues, el interesado se lleva una copia, y la administracion se queda con la suya.

No es menos curioso el medio de que se ha valido para que la impresion de los números se haga indistintamente con las mismas teclas y la misma rueda de tipos que las letras, sin que para ello tenga que hacer el empleado que trasmite otra cosa mas que tocar una tecla especial en vez de tocar la de los intervalos de letra á letra. Para eso, en la rueda R'', que hemos dicho sirve para fijar bien en su sitio la rueda de los tipos, el hueco entre diente y diente que corresponde á la tecla para cambiar de las letras á los números, tiene mucho mayor profundidad, la pieza triangular t entra mas, y la palanca, al recorrer el espacio aumentado, empuja lateralmente la rueda de los tipos, de modo que no presenta la prensa la misma parte del exergo en que están las letras, sino la que contiene los otros signos.

Cuando examinamos por primera vez este aparato, no habia pretendido su autor llenar tantas condiciones como las que ha obtenido; pero el mecanismo en cambio era mas sencillo, y aunque se propone perfeccionarlo simplificando las trasmisiones de movimiento, tiene, en nuestro concepto, el defecto de todos los telégrafos tipográficos, la complicacion, que unida á la dificultad de hacer que se correspondan exactamente los signos del comunicador y del receptor, como sucede tambien en los telégrafos de alfabeto, disminuye mucho la ventaja que resulta de poder dar y recibir un despacho, cual-

quiera que no haya tenido una instruccion especial para ello.

Telégrafo tipográfico del vizconde Du Moncel. — Ya en 1851 publicó M. Du Moncel la descripcion de un sistema de telégrafo impresor que habia hecho construir, y funcionaba sin mecanismo de relojería, bajo la influencia sola de la corriente; pero las modificaciones que ha introducido en él para hacerlo aplicable, lo han convertido, por decirlo así, en otro aparato.

La gran dificultad de los telégrafos tipográficos es el de hacer que valiéndose solo de un alambre conductor, el mecanismo impresor permanezca inmóvil durante el paso sucesivo de las letras, y trabaje solo al presentarse el signo que se quiere. Para obtener dicho efecto, hemos visto que Mr. Bain se valia de un sistema doble de fiadores, puestos en accion por un regulador de fuerza centrífuga; M. Brett emplea un aparato hidráulico de ascenso acelerado y de descenso lento; M. Freytel hace que la tension sea desigual en los resortes antagonistas de las armaduras que ponen en movimiento y detienen el mecanismo del aparato compositor y el del impresor; Siemens recurre á la inercia de imantacion de los grandes imanes; principio que Du Moncel cree poco riguroso, y que condena además, como los de los otros, porque fundados en una apreciacion de tiempo, deben faltar al menor descuido de los empleados.

Su aparato se compone de dos sistemas enteramente distintos uno de otro; el primero sirve para hacer llegar la letra que se quiere marcar á un punto fijo, y consiste en un telégrafo de muestra ordinario, cuya aguja indicadora está reemplazada por una rueda muy ligera, sobre la cual se hallan fijos los signos. El segundo sistema, destinado á imprimir, se compone de un piston elástico, que se mueve horizontalmente en una corredera, y cuyo vástago articulado corresponde á un manubrio. Este manubrio puede ponerse en mo-

vimiento por un mecanismo de relojería; pero ordinariamente se mantiene en una posicion fija por un fiador, sometido á la accion de un electro-iman especial. La paleta ó armadura de este electro-iman es de acero templado é imantado, de modo que la reaccion de la corriente que pone en movimiento el primer sistema, produce en ella una repulsion cuando pasa al través del electro-iman á que corresponde. La tira de papel en que debe imprimirse el despacho baja verticalmente entre la rueda y el piston, que está precisamente frente al punto fijo ó señal, resbala sobre dos tambores y viene á arrollarse en un tercer cilindro, que tiene una rueda de escape con su fiador, de modo que á cada movimiento de retroceso del piston, la tira corra el intervalo de dos letras, como en el sistema de M. Brett. Los caractéres de la rueda tipo se entintan al pasar delante de un rodillo de imprenta.

El comunicador, dice Du Moncel, puede ser el ordinario de un telégrafo de muestra, ó un teclado con un inversor, como el que ha construido M. Mirand para las porterías. Para comprender la manera de obrar del aparato, hay que tener presente que el mecanismo no queda sujeto, sino bajo la influencia de la armadura imantada de un electro-iman cuya accion atractiva es precisamente inversa á la que obra sobre el telégrafo. Sucede pues que mientras este funciona, el mecanismo impresor está inactivo; pero tan pronto como se ha tocado el conmutador de corrientes, el mecanismo queda libre, sin producir por eso una reaccion sobre el telégrafo. El piston avanza entonces hácia la letra de la rueda tipo que se encuentra delante del punto de señal, y queda impresa en la tira de papel interpuesta.

Telégrafo de Digney.—En la sesion del 22 de diciembre de 1856 presentó M. Babinet á la Academia de Ciencias de Paris un telégrafo debido á los hermanos Digney, cuyas ventajas enumeró, al mismo tiempo que hacia ver las pruebas de varios despachos impresos en caractéres romanos.

Segun la nota misma de los inventores, este telégrafo se aplica principalmente y sin complicacion aparente, á los de muestra; es decir, que en la forma se asemeja al de Du Moncel; pero de manera que es posible obtener despachos impresos sin cambiar de una manera notable los que se usan actualmente, ni el modo de manejarlos; ó lo que es lo mismo, que los empleados pueden servirse de ellos sin una nueva instruccion.

El principio en que se funda el telégrafo de Digney, y lo que permite aplicarlo á los receptores ordinarios, es el tener un manipulador reotómico que invierte la corriente para producir el doble resultado de la trasmision y de la impresion. Sin entrar en la descripcion circunstanciada, que puede verse en *El Cosmos* del 27 de diciembre de 1856 ó en las *Aplicaciones de la electricidad*, de Du Moncel, dirémos que al receptor ordinario de un telégrafo de muestra se le añade otro electro-iman, ó se sustituye á la paleta de escape de hierro dulce un iman artificial, fijando en el eje mismo de la rueda de escape un disco con letras de relieve en la circunferencia, cerca del cual pasa tangente á ella una tira de papel, que recibe la impresion cuando la empuja una palanca unida á la paleta del electro-iman.

Ya en sus *Investigaciones sobre la telegrafía eléctrica* propone Gloesener el plan de un telégrafo tipográfico, fundado asimismo en la conmutacion de la corriente para detener el disco de los tipos y cerrar el circúito de una pila local, que ha de poner en movimiento el martinete de impresion.

M. Regnard ha propuesto tambien un telégrafo tipográfico, construido como su telégrafo de alfabeto; pero no lo explica bastante para juzgar de su mérito. Desde luego se concibe que será mucho mas complicado que el de alfabeto.

Telégrafo tipográfico de Breguet.—Este aparato, construido en 1847, dice el mismo Breguet, ha permanecido diez años abandonado, porque no presentaba verdaderas ventajas en la práctica; sin embargo, le ocurrió despues no establecer la corriente que hace marchar el aparato impresor, sino en el momento preciso, y hé aquí de qué manera hizo la aplicacion del principio.

En todos sus telégrafos hay un escape en que la armadura, que suele llamarse paleta, atraida sucesivamente por el electro-iman, hace el efecto de una péndola de reloj. Dicha paleta está limitada en sus oscilaciones por dos tornillos, contra los cuales viene á tropezar un vástago, que forma cuerpo con la paleta.

En el costado del vástago, que tropieza contra uno de los tornillos cuando la paleta es atraida por el electro-iman, coloca un resorte, que es entonces lo que apoya contra el tornillo. Al extremo del mismo vástago hay otro resorte, que puede venir á tocar un tornillo cuando el primero cede por la fuerza de la imautacion. Este nuevo resorte y el tornillo constituyen los polos de una pila, cuya corriente pasa al rededor del electro-iman del mecanismo impresor; por consiguiente, dicho electro-iman se hace activo en el momento en que se verifica el contacto de las dos piezas.

Trasmitiendo señales con una velocidad de treinta y cinco por minuto, cuando se pasa de una letra á otra, la corriente circula por el electro-iman 0,07 segundos, y en el momento en que se detiene la mano sobre la letra que se qüiere indicar, la corriente circula 0,40 segundos, ó sea cinco veces mas tiempo, lo cual basta para que la imantacion haga ceder el primer resorte y permita al segundo cerrar el circúito de la pila del impresor.

El manipulador no necesita mencion particular; porque es el mismo que empleaba Breguet en sus primeros telégrafos; es decir, con una rueda de veinte y seis dientes.

Telégrafo tipográfico para los signos de Chape.—Este telégrafo, imaginado y construido por Breguet, para obtener la impresion de los signos telegráficos del vocabulario de Chape, que marcan los telégrafos del gobierno francés, es sumamente complicado. Darémos una idea del principio en que se funda.

Si las ocho posiciones de cada aguja se graban en relieve, cada una separadamente, sobre ocho agujas móviles, se podrá hacer que los aparatos comunicadores y receptores hagan llegar á un punto fijo la aguja que tiene el signo trasmitido. Suponiendo que este puntó se encuentra precisamente en el de tangencia de las circunferencias descritas por los dos sistemas de agujas, y que allí precisamente se encuentra dispuesta en relieve una barra colocada en el sentido de la línea que une los centros de los dos sistemas, se concibe que los signos, al llegar al punto fijo por ambos lados de la barra, dibujarán el signo telegráfico. Para imprimirlo bastará hacer pasar una tira de papel por encima, y apretarla contra los relieves, ya sea por medio de un excéntrico, puesto en movimiento por un mecanismo de relojería que no marche sino cuando deba; ya por un martillo que caiga verticalmente y se eleve despues por el mecanismo de relojería. En uno y otro caso es preciso que esta accion mecánica sea seguida ó precedida de otro movimiento de los cilindros en que se halla el papel, para que avanzando este la distancia conveniente, no se superpongan los signos unos á otros.

Sabemos que además del de Breguet, se han construido otros de esta especie; pero no los conocemos, y no es ya de mucha importancia su estudio.

Telégrafo electro-químico de Bain.

La invencion de este telégrafo, establecido en Inglaterra, de Lóndres á Manchester y de Manchester á Liverpool, que se halla aplicado en varias líneas de los Estados-Unidos de América, es una de aquellas que harán época en la histo-

ria de los telégrafos, por la novedad del principio y por la sencillez del mecanismo, que supera en esto al de Morse, pues no necesita electro-iman.

El principio en que está fundado este telégrafo es el siguiente: Una corriente eléctrica descompone las sales metálicas, depositando el metal en el polo negativo, y si una hoja de papel empapada primero en una disolucion de cianuro potásico y despues en ácido clorhídrico se expone, húmeda todavía, á la accion de la corriente, que pasa por una punta de hierro ó de acero en contacto con el polo positivo, la punta dejará una señal azul, que se prolongará todo el tiempo que siga pasando la corriente por ella; y por el contrario, no producirá señal ninguna cuando la corriente se halle interrumpida.

Se ve pues que si la corriente pasa un momento y desaparece, la punta de hierro marcará un punto; si la corriente subsiste algunos instantes, se producirá una raya y á cada interrupcion quedará un espacio blanco; podrá por consiguiente obtenerse un despacho escrito en caractéres como los del telégrafo de Morse, compuesto de puntos y rayas combinadas; pero sin necesidad de un electro-iman, que ponga en movimiento el punzon; bastará que este permanezca siempre apoyado sobre el papel; la simple interrupcion y el establecimiento del circúito en el manipulador bastará para que se marque un punto ó una raya en el papel, si este va pasando arrastrado por un mecanismo de relojería ó por la mano.

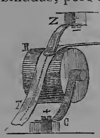


Fig. 194.

Sea F (figura 194) una tira de papel impregnada de ioduro de potasio y ácido hidroclórico, y R un rodillo metálico por el cual pasa la tira de papel. Z es el polo negativo de la pila que por medio de un resorte delgado, en vez de punta, se pone en comunicacion con el papel; C es el polo positivo que comunica con el rodillo metálico. Si en la otra estacion se in-

terpone en el circúito la llave del telégrafo de Morse (figura 188) se trasmitirán los signos como se hacia en este; pero Bain ha dado una nueva forma á su comunicador, para que no sea la mano del empleado la que haga las señales. Recorta en una tira de papel agujeros redondos y largos, como los signos que ha de trazar la punta de hierro. Coloca despues la tira de papel arrollada en una polea, en donde está como almacenada, y la va desenrollando un mecanismo de relojería, para hacerla pasar por dos cilindros metálicos; uno de ellos está en relacion con una de las ramas del circúito, y puede cerrarlo por medio de un resorte que apoya sobre su periferia; pero como la tira de papel corre entre el cilindro y el resorte, la corriente no circula sino cuando el resorte pasa por uno de los agujeros del papel. La impresion que se verifica en el otro extremo de la línea, no necesita una accion mecánica; por consiguiente es instantánea, y la trasmision puede hacerse con la rapidez que se quiera; no depende sino de la velocidad del movimiento de relojería que desarrolla la tira en el comunicador, advirtiendo que cada aparato es doble y tiene juntos el comunicador y el receptor.

Dice Pouillet que habiendo tenido ocasion de descifrar un despacho de una página, trasmitido de Paris á Paris mismo, pero pasando por Lille; es decir, por un circúito de unos 650 kilómetros, á razon de 1,400 ó 1,200 signos por minuto, no encontró una sola falta. Es indudable pues que atendiendo á la sencillez del aparato y á la rapidez y seguridad con que trasmite por un alambre signos que se dan trazados en el comunicador, quedan escritos en el receptor, y no exigen por consiguiente la atencion continua de los empleados de una y otra estacion, no habria un telégrafo que pudiera competir con este, sin la dificultad de preparar convenientemente el papel; dificultad que no han bastado á vencer satisfactoriamente los esfuerzos que de algun tiempo á esta parte hacen las personas que se ocupan de telegrafía eléctrica. En el telégrafo de *Bain* el papel pasa sobre un paquete de me-

chas de algodon medio sumergidas en agua, para conservar constantemente la humedad que necesita. Cuando tiene demasiada, el papel se rompe; cuando por el contrario no tiene bastante, las señales no se producen distintamente, y exigen que la corriente sea mas fuerte y que subsista mas tiempo el contacto entre el papel y la punta de hierro.

M. Varley, ingeniero empleado en la estacion central de telégrafos de Lóndres, ha propuesto varias modificaciones con un telégrafo electro–químico, en que el papel se hallaba impregnado de ioduro potásico y de almidon, de modo que una punta de platino ó de otro metal cualquiera, descomponiendo el ioduro por la accion eléctrica, deja en libertad el iodo, y este obra sobre el almidon. Du Moncel asegura que es mejor el sistema de Bain, y sin duda por esa razon Varley aplica hoy sus mejoras al telégrafo mismo de Bain, al de Morse y aun al de agujas, á los cuales se pueden adaptar tambien.

Consisten las mejoras propuestas por Varley: 1.° en una llave ó manipulador, que invierte la corriente y descarga el alambre en cada movimiento; 2.° en un relevo, en que se aprovecha la accion de la gravedad para establecer el contacto, de modo que es un auxiliar de la accion eléctrica; y es la suma, y no la diferencia, de ambas fuerzas lo que se utiliza; 3.° en una disposicion particular del relevo, que hace que al establecerse el contacto oblicuamente se desaloje la capa de aire interpuesta, con lo cual se aprovecha toda la fuerza de la pila, y pueden funcionar los aparatos aunque haya pérdida de electricidad por falta de aislamiento. Segun *El Cosmos*, al través de un circúito de 428 kilómetros (compuesto de 200 de cable submarino, 40 de alambre subterráneo y 188 de conductor aislado sobre soportes), Mr. Varley ha trasmitido y estampado 701 palabras en veinte minutos y medio, que es la mayor velocidad á que se ha llegado con los telégrafos notadores.

M. Gloesener ha construido un telégrafo, que llama telégrafo químico, en que los signos se obtienen sobre una hoja de papel comun empapado en una disolucion de tintura de tornasol, trazados por una pluma compuesta de un hilo de platino, fijo por uno de sus extremos á una paleta de acero imantada, y que tiene en el otro un pequeño cono de piedra pomez, que se sumerge en ácido sulfúrico concentrado. Como en los demás telégrafos de Gloesener, la accion es de doble efecto por medio de dos electro-imanes, que invierten la corriente en vez de interrumpirla.

Asegura el autor que sus experimentos han sido muy satisfactorios; que la accion de la pluma sobre el papel es instantánea, y las rayas y puntos rojos perfectamente visibles.

A pesar de todo, no creemos que sea tan rápido ni menos expuesto á detenciones que el de Bain, porque al fin exige el desarrollo de una fuerza mecánica en el aparato receptor, y la preparacion del papel puede influir en la limpieza de los signos.

Telégrafos autográficos.

La idea del telégrafo autográfico debió seguir á la del telégrafo electro-químico, y Bain y Wheatstone se disputan la prioridad de la idea; pero la primera noticia de haberse realizado este gran descubrimiento, es la que insertó la *Gaceta literaria de Lóndres* el 23 de setiembre de 1847: «Se ha hecho la semana última el ensayo del telégrafo eléctrico autográfico inventado por Mr. Bakewell, que tiene por objeto trascribir á distancia copias de un despacho manuscrito, de manera que el corresponsal reconozca inmediatamente la letra del que le dirige una noticia ó una órden. Los experimentos se han hecho en un ramal del telégrafo eléctrico establecido entre Seymour Street y Slough, y se trataba de saber si la débil corriente que pone en movimiento el telégrafo de agujas, bastaria para la trasmision autógrafa de los despachos. Sabemos, dice el periódico citado, que los resultados no han podido ser mas

satisfactorios, y que se han obtenido en Slough copias muy legibles de despachos escritos en Lóndres, con una rapidez de trasmision doble de la que hubiera dado el telégrafo de agujas. Se añade que Mr. Bakewell se compromete á escribir 400 letras por minuto con un solo alambre conductor.»

No habiéndonos sido posible estudiar el mecanismo del telégrafo autográfico de Bakewell, reproducirémos la idea que de él se ha formado Du Moncel, que aunque no lo conoce tampoco, ha tenido ocasion de examinar algunas muestras de escritura presentadas en la exposicion de Lóndres.

Un mecanismo de relojería puede producir fácilmente el movimiento de vaiven de una punta metálica ; y este movimiento, por medio de una rosca sin fin, puede combinarse con otro de traslacion en sentido perpendicular al primero. Si las puntas metálicas fuesen lápices, dibujarian rayas mas ó menos juntas, segun los pasos de la rosca, y la superficie que debieran cubrir se llenaria tanto mas pronto, cuanto mas deprisa anduviera el mecanismo de relojería.

Supóngase en cada estacion un mecanismo igual, y que debajo de las puntas metálicas, que serian la una de hierro y la otra de cobre ó de plata, estuvieran colocadas de un lado, debajo de la punta de hierro, una hoja preparada con cianuro potásico, como en el telégrafo electro-químico, y como allí, aplicado sobre una plancha metálica en relacion con el circúito; en el otro lado, debajo de la punta de cobre, el despacho que se habia de trasmitir escrito sobre un papel metálico, de estaño por ejemplo; sucederá que si la corriente pasa de la pila á la hoja de estaño, y un alambre conductor pone en comunicacion las dos puntas metálicas animadas de un movimiento sincrónico, la corriente no se interrumpirá en la estacion que trasmite, sino cuando la punta de cobre, pasando por las letras mismas, deje de estar en contacto con el papel metálico. La punta de hierro de la estacion que recibe, dibujará constantemente las líneas azules, que no estarán interrumpidas sino en los diferentes puntos en que la punta comu-

nicadora haya encontrado las letras; estas quedaran, por consiguiente, reproducidas por una série de puntos blancos, cuyo conjunto será enteramente igual á las letras del despacho, porque el movimiento de las dos puntas es sincrónico.

Telégrafo autográfico de Hipp. — Difiere este telégrafo del que acabamos de explicar, en que la punta metálica, en vez de trazar una série de líneas rectas, casi pegadas unas á otras, recorre un camino sinuoso, como el representado en la figura 195, y como se verá, aunque muy ingenioso, no es verdaderamente autográfico.

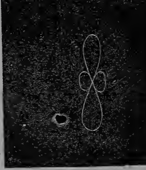


Fig. 195.

Cada estacion tiene un mecanismo semejante, y ambos están sometidos por la influencia de la corriente á un movimiento sincrónico. El aparato de la estacion que comunica está dispuesto de manera que la punta metálica, en su estado normal, se halla levantada sobre una plancha conductora por medio de un ligero resorte; pero baja tan pronto como se aplica el dedo. El aparato de la estacion que recibe tiene su punta de acero constantemente apoyada sobre una tira de papel preparado con cianuro potásico, y recibe de un mecanismo de relojería el movimiento uniforme, pero ondulado, que tiene la punta del comunicador. Si se examina que las sinuosidades recorridas por las puntas, segun se considere tal ó cual parte de ellas, pueden representar las diferentes letras del alfabeto, se comprenderá que basta apoyar el dedo en la punta móvil de la estacion que trasmite, precisamente en el momento en que empieza á describir la sinuosidad que representa la letra que se quiere trazar para que la corriente se cierre, y haya un trazo igual en el papel preparado de la otra estacion.

Telégrafo foto-eléctrico de M. Martin de Brettes.

En la sesion de la Academia de Ciencias de Paris del 7 de julio de 1856, se leyó una nota de M. Martin de Brettes, oficial de artillería, reclamando la prioridad sobre un sistema de correspondencia telegráfica por medio de señales cortas y largas producidas por la luz eléctrica, cuya longitud ó duracion determina valiéndose de unos rombos mas ó menos alargados, recortados en una hoja de papel. Como lo hizo notar M. Leverrier en la misma sesion, es una aplicacion del alfabeto del telégrafo de Morse ó de Bain. Independientemente de la cuestion de prioridad, encontramos en este telégrafo la ventaja sobre el telégrafo solar de M. Leseurre, contra el cual reclamaba, de poder servir de noche, y encontramos extraño que á propósito de eso, se haya emitido la siguiente opinion: que siendo excelente el sistema de señales cronométricas de M. Leseurre, era inútil buscar otra cosa mejor.

Telégrafo eléctrico globotipo.

Este es el nombre que le ha dado su autor, cuyo nombre no indica el *Practical mechanic's Journal* al dar cuenta de esta invencion, fundada en un principio enteramente nuevo.

Las señales las forman unas bolas de vidrio de tres tamaños y colores diferentes, dispuestas en tres líneas, que ruedan en unas canales á lo largo de un plano inclinado, y vienen á colocarse, en el órden de su caida, detrás de un cristal. El órden de sucesion forma las letras, que se perciben con gran facilidad. El que trasmite los despachos tiene delante tres teclas, correspondientes á las tres clases de bolas, y cada vez que baja una, se cierra un circúito eléctrico, cuya accion, por medio de un electro-iman, levanta el fiador que detiene la bola que se quiere hacer caer.

Hemos pasado una revista ligera de los telégrafos que conocemos, y que merecen ocupar un lugar en la historia de

las aplicaciones de la electricidad, ya por la época en que se inventaron, ya porque se emplean actualmente en las líneas telegráficas, ó ya, en fin, porque tienen modificaciones verdaderamente útiles ó ingeniosas, que mas ó menos tarde están llamadas á prestar grandes servicios en el terreno de la práctica.

Hemos dejado de incluir expresamente en este capítulo algunos aparatos especiales, como el telégrafo portátil de Breguet, porque pensamos consagrarle un lugar preferente al hablar de los medios que han adoptado algunas líneas de caminos de hierro para precaver ó disminuir los deplorables efectos de un accidente.

Réstanos solo dar á conocer algunos aparatos accesorios, pero muy importantes, y modificaciones tambien del mayor interés, que son aplicables á todos los sistemas de telegrafía, ó á varios de ellos reunidos, y que necesitan por consiguiente un párrafo especial.

PARA-RAYOS DE LAS LÍNEAS TELEGRÁFICAS.

Con motivo de un rayo que destrozó los alambres de la estacion de Vesinet, é inutilizó completamente los aparatos telegráficos que habia en ella, imaginó Breguet su para-rayos, fundado en que un alambre poco conductor, atravesado por una corriente, puede calentarse hasta el punto de entrar en fusion.

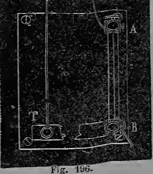


Fig. 196.

El aparato se compone de una tabla pequeña (figura 196), en la cual hay colocados, á cinco ó siete centímetros uno de otro, dos tornillos A, B, unidos por un alambre de hierro muy fino, y á los cuales vienen á parar los dos extremos del circúito de la línea, quedando por consiguiente interpuesto en ella el aparato; de manera que las corrientes de las pilas y la

electricidad atmosférica que invaden accidentalmente los conductores, tienen que atravesar precisamente el alambre de hierro, que para mayor seguridad se cubre con un tubo de vidrio. Si la descarga es demasiado fuerte, el alambre se calienta y se funde, y quedan intactos los aparatos y el conductor. Frente al tornillo *B*, que se halla en contacto con una pieza de cobre, cuyo borde está recortado en forma de sierra, hay otro tornillo *T*, con otra pieza igual, que comunica con la tierra y que presenta sus puntas á la primera; de manera que bajo la influencia atractiva de las puntas, la electricidad acumulada en el alambre se descarga en la tierra.

Este aparato, dice Breguet en la tercera edicion de su telegrafía, ha sido condenado en el primer número de un periódico publicado bajo los auspicios de la administracion telegráfica (1), como ineficaz y peligroso para los empleados; pero la persona que ha redactado el artículo estaba mal informada, porque pueden verse los testimonios de las administraciones de los caminos de hierro, que hacen plena justicia á su *perfecta utilidad*, así como á su carácter inofensivo.

Nosotros creemos, con el abate Moigno, que no es absolutamente eficaz para las grandes tempestades, pero indudablemente ha prestado y puede seguir prestando grandes servicios.

Hemos visto en la estacion central de telégrafos de Paris un para-rayos de Breguet modificado de manera, que en el momento en que se funde el hilo metálico, la caida de una perilla pone en comunicacion el alambre de la línea con la tierra.

A
m
B
m
C

Fig. 197.

Esto se consigue tambien por medio de tres virolas metálicas *A*, *B*, *C* (figura 197), separadas por dos anillos de marfil *m m*, de suerte que no se comunican entre sí directamente, pero sí cuando un hilo metálico cubierto de seda, que une las dos virolas extremas, llega á ponerse rojo por efecto de la electricidad at-

(1) Los *Anales de la telegrafía*.

mosférica, pues entonces la seda se quema, y queda desnudo el alambre, tocando á las tres virolas; ahora bien, si la del centro está en relacion con la tierra, y las dos con los aparatos telegráficos y el alambre de la línea, este quedará en comunicacion con la tierra.

Mr. Walker ha resuelto el problema de otra manera. Su aparato consiste en un cilindro de cobre puesto en comunicacion directa con la tierra, y cerrado en ambos extremos con dos discos de madera, sobre cada uno de los cuales hay otro disco de cobre. Uno de los discos, en relacion con el alambre de la línea, está armado de puntas, dispuestas circularmente frente al borde del cilindro que le corresponde. El otro disco en relacion con el aparato telegráfico, se encuentra próximo y frente á las puntas que le presenta el cilindro cuyo borde correspondiente está dispuesto como el primer disco. Además de eso, los dos discos están en comunicacion directa por un vástago transversal, que los une en el interior del cilindro; vástago que tiene otros dos discos, armados tambien de puntas, que se presentan á la superficie interior del cilindro. Debajo de estos discos, y siempre en el interior del cilindro, hay un carrete de madera, en el cual se arrolla un alambre mucho mas delgado que el de los aparatos, y que pone en comunicacion el conductor de la línea con otro alambre que termina lo mas cerca posible de la tierra, y desde luego á mucha menor distancia que las partes metálicas del aparato.

Con esta disposicion, que es una mejora de la de Breguet, la electricidad atmosférica obra por las puntas sobre el cilindro metálico, y se neutraliza á expensas de la electricidad de la tierra, y cuando esto no es suficiente, se completa con la fusion del alambre arrollado en el carrete.

Otro para-rayos de telégrafos es el de la figura 198, inventado por Steinheil. El techo de la caseta que sirve de es-

tacion telegráfica está armado de dos conductores en punta, que comunican con la tierra por un alambre ; hay además dos planchas de cobre cuadradas *P* y *P′*, de seis pulgadas próximamente.

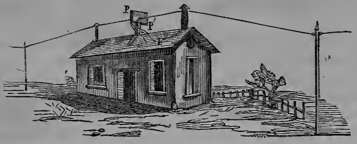


Fig. 198.

El alambre conductor está interrumpido, y se pone en relacion con las planchas colocándolo normalmente á un lado y á otro. Las planchas, dispuestas sobre una base aisladora de porcelana, están fijas sobre el tejado, y separadas la una de la otra por varios paños de seda, y se hallan á cubierto de la lluvia por una campana. Dos alambres muy finos *F* y *F′*, soldados á las planchas, conducen la corriente al aparato telegráfico; corriente de muy poca tension siempre, para vencer el aislamiento de las planchas y atravesar de una á otra directamente, vendrá pues por *F* á los aparatos, y volverá por *F′* al conductor. La electricidad atmosférica, por el contrario, no encontrará salida suficiente por los hilos *F F′*, y saltará directamente de una plancha á otra; por consiguiente los empleados y los aparatos estarán al abrigo de todo peligro.

M. Fardely ha aplicado en la principal línea telegráfica del gran ducado de Baden un sistema, que es la combinacion de las ideas de Steinheil y Breguet, y hace la interrupcion del conductor en el poste inmediato á la estacion.

M. Meismer ha empleado en la línea del gran ducado de Brunswick un aparato que no difiere de los anteriores sino

en algunos detalles de construccion, solo que en vez de hacer la interrupcion en el tejado como Steinheil, ó en el primer poste como Fardely, lo establece en el interior de la estacion, despues de haber hecho pasar el alambre de la línea por tubos de hierro enterrados.

Con el mismo objeto propone M. Bianchi otro aparato. Se compone de una esfera de metal, atravesada por el alambre del circúito de la pila, y mantenida en el centro de otra esfera de vidrio formada de dos hemisferios reunidos por un anillo de cobre bien ancho, armado interiormente de puntas equidistantes, que se dirigen hácia el centro de la esfera metálica, y llegan á una distancia muy pequeña de su superficie. Los dos hemisferios están terminados por unos mangos huecos, por los cuales pasa oculto el alambre conductor. La parte inferior del anillo de cobre tiene una llave metálica, que permite hacer el vacío en el aparato, y mantenerle si se juzga necesario. Esta llave tiene un paso de rosca, que debe recibir un vástago metálico, destinado á poner el aparato en comunicacion directa con la tierra, al paso que aisla completamente el alambre del circúito de la pila, del cual forma parte la esfera metálica. La electricidad atmosférica, aquí como en los otros aparatos que hemos descrito, pasa del alambre conductor al suelo por las puntas de que está armado el anillo; no es en realidad sino una modificacion del de Breguet.

El para-rayos de los telégrafos del gobierno francés, que Du Moncel considera como una combinacion de los de Walker y Steinheil, consiste en una tablilla vertical ó pilarete, sobre el cual hay colocados: un conmutador *H* (figura 199), con tres resortes y cinco contactos *a*, *b*, *c*, *d*, *e*; un descargador *P U*, y un sistema particular de comunicador *N Z M*, que se compone, como en el para-rayos de Breguet, de un alambre de hierro muy fino, metido en un tubito de vidrio, ó de otro de los sistemas perfeccionados que indicamos en la pág. 542

En la parte inferior hay tres tornillos de cobre *T, L* y *A*, á los cuales se sujetan respectivamente los alambres de tierra, de la línea y del aparato telegráfico. El tornillo *L* comunica además con el eje del conmutador, cuyo mango *K* se puede poner sobre cada una de las planchas que tienen los rótulos : *sin para-rayos, tierra, con para-rayos*, segun los contactos *a, b, c, d, e*, que se quieran comunicar entre sí.

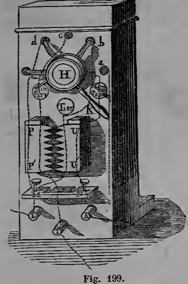


Fig. 199.

El eje del comunicador no comunica sino con la rama ó resorte central de los tres que tiene; los otros dos están unidos entre sí metálicamente por una virola de cobre aislada del eje por otra de marfil.

Con alambres ó cintas metálicas se establecen por detrás de la tablilla las siguientes comunicaciones :

L con *P* y con *H*,
a con *N*,
b con *M*,
d con *A*,
c con *U*, con *Z* y con *T*.

Cuando el mango del conmutador se coloca sobre el letrero *sin para-rayos*, su rama central apoya en el contacto *d*; por consiguiente, la corriente que viene de la línea y entra por el tornillo *L*, atraviesa la lámina *P* del descargador y pasa del centro *H* del conmutador al boton *d*, desde donde se dirige al tornillo *A* de salida para el aparato telegráfico.

Si el mango se coloca sobre la inscripcion *con para-rayos*, las tres ramas del conmutador apoyan en los contactos *a, b* y *d*; la corriente entonces, viniendo siempre por *L*, despues de atravesar la lámina de cobre *P*, llega por la rama del centro

al contacto *b* y al extremo *M* del comunicador ó para-rayos, atraviesa el hilo de este, pasa del otro extremo *N* al contacto *a*, y por las ramas extremas del conmutador llega á *d*, de donde va al aparato telegráfico por el tornillo *A*.

Poniendo el mango del conmutador en la tercera de las posiciones, es decir, sobre el letrero *tierra*, la rama del centro apoya en el contacto *c*, que comunica con la tierra por la lámina *U* del descargador, por la pieza ó virola *Z* del para-rayos y el tornillo *T;* á este punto pues vendrá á parar la corriente que entró por *L* y pasó por *P* para llegar á la rama central del conmutador.

M. Masson ha propuesto utilizar el hecho que habia observado de que el alcohol es bastante mal conductor para aislar un circúito voltáico, pero de conductibilidad suficiente para dejar pasar la electricidad de tension. El aparato seria un vaso de vidrio lleno de alcohol á 40°, y puesto boca abajo sobre un platillo embetunado de manera que no pudiera salirse el líquido. El conductor de la línea penetraria en el vaso, y terminaria dentro del alcohol en una lámina de cobre recortada en forma de sierra; otra igual se opondria á esta sin tocarla, y estando en comunicacion con la tierra, descargaria la primera cuando se hubiese acumulado en ella una gran carga de electricidad.

Es inútil decir cómo se pondria en relacion con este para-rayos el aparato telegráfico.

Empleo simultáneo de dos sistemas telegráficos distintos.

Mr. Varley, ingeniero de la compañía de telégrafos de Lothbury en Lóndres, y autor del telégrafo qne hemos mencionado en la pág. 536, ha establecido de tal manera los receptores y comunicadores de la línea de Lóndres á Dantzig, que no solo puede corresponderse directamente de un punto á otro, á pesar de la gran distancia y del cable submarino, cuyos inconvenientes vimos en el capítulo VI, sino lo que es

mas notable, en Lóndres se trasmiten y reciben los despachos por su sistema de doble corriente ó de inversion, con un telégrafo electro-químico y de agujas á la vez, mientras que en Hamburgo, Berlin, Dantzig y Memel los despachos se trasmiten y reciben con el telégrafo de Morse de simple corriente, ó sea de corriente interrumpida.

Comunicacion simultánea de un despacho á varias estaciones telegráficas.

Relevo reotómico de Du Moncel. — Hace mucho tiempo que Wheatstone habia buscado el medio de resolver este problema, y habia imaginado un aparato fundado en la persistencia de la desviacion del galvanómetro sometido á una corriente interrumpida en intervalos excesivamente pequeños; pero el isocronismo perfecto que exigian estos aparatos en el movimiento, y la lentitud de la trasmision, hacian la solucion del problema mas bien teórica que práctica; Du Moncel ha tratado de resolverlo de otra manera:

Supóngase en la estacion central, distante de la que trasmite, un mecanismo de relojería cuyo movimiento sea lo mas acelerado posible, y que tenga por efecto mecánico poner en movimiento circular ó rectilíneo un frotador de émbolo, aplicado sobre una lámina de marfil fija; se concebirá fácilmente que si la lámina de marfil tiene en el curso del émbolo tantas planchas metálicas como aparatos sea preciso poner en movimiento, el émbolo en cada corrida podrá enviar sucesivamente una misma corriente á los diferentes aparatos. Ahora bien, admitiendo que el mecanismo de relojería dependa de un electro iman interpuesto en el circúito de un relevo ó en el mismo de la línea, y que cada atraccion de este electro-iman tenga por efecto permitir al frotador de émbolo que haga una corrida entera, sucederá que cada vez que se cierre el circúito del relevo habrá una série de circúitos cerrados sucesivamente; circúitos que podrán establecerse con una rapidez infinita, porque no necesitan para volverse á abrir estar en relacion con las acciones mecánicas producidas.

Este sistema de *relevo reotómico*, que su autor no cree aplicable sino á los telégrafos de agujas, se aplicaria de una manera mas sencilla si la trasmision múltiple hubiera de hacerse desde la estacion misma de donde parte el despacho, porque entonces el comunicador obraria directamente sobre el mecanismo de relojería, sin necesidad de relevo ni de electro-iman que ejerciera su accion sobre el relevo reotómico.

Aplicando el principio de la conmutacion de corrientes, M. Regnard ha propuesto un relevo doble para trasmitir un despacho en dos direcciones diferentes, fundado en el empleo de un par de electro-imanes dobles con dobles armaduras imantadas, como los que citamos en la pág. 501.

Posteriormente hemos sabido por el profesor Wheatstone, que se ocupa y tiene ya casi resuelto el problema de establecer en el alambre de una línea telegráfica todas las derivaciones, hasta diez mil, dice, si es menester, sin que la corriente deje de ser bastante enérgica para poner en movimiento otros tantos aparatos. Suponemos que será por medio de otras tantas pilas locales; pero aun así, la resolucion del problema seria de una importancia extraordinaria, y preferible al empleo de cualquier relevo reotómico.

Trasmision simultánea de dos despachos por un mismo alambre en sentido contrario.

Mr. Gintl es el primero que ha resuelto este problema, aplicando su sistema á un telégrafo electro-químico, y sus experimentos, empezados en 1853, se hicieron públicamente en 1854, segun los describe el número 2375 del repertorio *El Austria*.

Varios físicos se han ocupado, despues, de esta importante cuestion, y en la exposicion universal de 1855 se veian marchar varios telégrafos de Morse por medio de disposiciones diferentes, aunque siempre bajo el mismo principio propuesto por Gintl; entre otros, citarémos los de Siemens y Halske, Edlund y Wartmann.

La figura 200 permite formarse una idea del principio de esta aplicacion, tal como la han propuesto Edlund y Siemens.

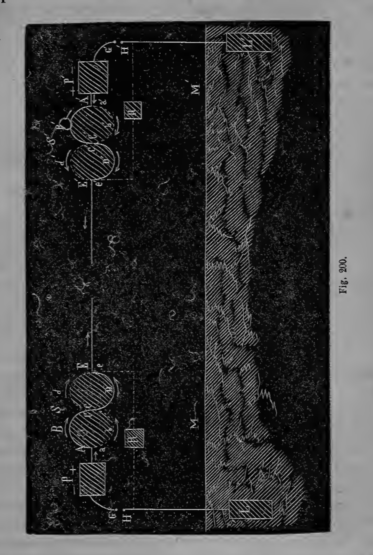


Fig. 200.

M y *M'* representan las dos estaciones telegráficas, provistas de aparatos idénticos, y unidas por un solo conductor *E E'* y dos planchas *L L'* enterradas para establecer el circúito por la

tierra; las mismas letras indican los mismos objetos en ambas, y bastará, por consiguiente, describir los de uno. *P* es una pila local, cuyo polo negativo va á parar á *G*, el otro polo es el punto de donde parten dos alambres que se arrollan en sentido inverso al rededor del electro-iman del relevo *S*; uno de los alambres está representado por *A B C D E*, y está unido en *E* al conductor de la línea *E E'*, mientras el segundo, representado por *a b c d e*, se une al alambre *e f*, pasa por el reóstato *R*, que puede por consiguiente hacer variar la resistencia del circúito, viene despues á *H*, donde se junta con el alambre *H L*, que comunica con la tierra.

Resulta de esta disposicion, que mientras los dos puntos *G* y *H* están separados, los circúitos se hallan abiertos y la electricidad no circula; pero si se unen *G* y *H*, la corriente de la pila *P* se bifurca, pasa en dos sentidos inversos por los hilos del relevo *S* de esta estacion, y no produce por consiguiente efecto magnético, si las dos corrientes son iguales, es decir, si las resistencias son las mismas en ambos circúitos. El primero de estos se compone, como hemos dicho, del alambre *A B C D E* del conductor *E E'* de la línea y de la tierra, porque la corriente vuelve de *L'* á *L* hasta el polo negativo de la pila; el segundo circúito se compone solamente del alambre *a b c d e* y del reóstato; pero variando la longitud del alambre en este, puede hacerse que presente la misma resistencia que en el otro circúito; serán por consiguiente iguales las corrientes que atraviesan en sentido inverso el electro-iman *S*, y su accion magnética será nula. Se concibe pues que poniendo en *G H* una llave ó manipulador, como el del telégrafo de Morse, se podrá establecer ó interrumpir la corriente por intervalos; pero ni en uno ni en otro caso hay efecto magnético en el electro-iman *S*, porque en el segundo no hay corriente, y en el primero, cualquiera que sea su intensidad, las dos corrientes parciales se destruyen mútuamente.

Si se considera el efecto producido por las pilas en los apa-

ratos de la estacion inmediata, se verá que las acciones no se anulan. Cuando se cierra el circúito en $G\ H$ con la llave, una sola de las corrientes parciales pasa por $E\ E'$. Esta corriente circula por el alambre $E'\ D'\ C'\ B'\ A'$, y si no encuentra á G' en comunicacion con H', es decir, si la llave $G'\ H'$ está abierta, pasa despues al alambre $a'\ b'\ c'\ d'\ e'\ f'$ para llegar á la tierra en L' y volver á la pila P, pasando por el reóstato R' y por H'; pero al atravesar dos veces el relevo S', no lo hace en sentido inverso en cada alambre como en S, sino en la misma direccion; por consiguiente produce una imantacion doble en el electro-iman, es decir, que hace obrar el relevo S' y los aparatos telegráficos que estén en relacion con él, sin producir efecto ninguno en S.

Suponiendo ahora que $G'\ H'$ estén en comunicacion, es decir, que la llave esté cerrada de una manera continua, veamos lo que pasa cuando se cierra la llave en $G\ H$, es decir, cuando la electricidad se presenta en E' en el sentido $E\ E'$; entonces S' no se imanta por la corriente de P' por las razones que hemos expuesto para la otra estacion, pero si bien en el momento en que la corriente que viene de M y llega á E', todo efecto es nulo en el trozo $E'\ D'\ B'\ A'$, porque hay dos corrientes en sentido opuesto; la corriente $a'\ b'\ c'\ d'\ e'$, que estaba anulada antes por $A'\ B'\ C'\ D'\ E'$, puede tener toda su accion, y S' se imanta.

Hemos visto que ya sea porque esté abierta la llave $G'\ H'$, ya sea porque esté cerrada, se puede producir un movimiento en el electro-iman S' siempre que se abre ó se cierra la llave $G\ H$, y por consiguiente se verificará lo mismo en la otra estacion. Un movimiento de la llave $G'\ H'$ producirá un movimiento en el relevo S, sea cualquiera la posicion de la llave $G\ H$, y por lo tanto, las dos estaciones podrán hablarse al mismo tiempo por el mismo alambre conductor. ¿Quiere esto decir que dos corrientes contrarias pueden atravesar simultáneamente el alambre conductor? No, por cierto, y vamos á demostrarlo con una observacion muy sencilla.

Cuando la llave $G' H'$ está abierta, la corriente de la pila P es la que influye, como hemos visto, sobre el electro-iman S', porque la pila P' tiene entonces aislado uno de sus polos y no trabaja.

Cuando la llave $G' H'$ está cerrada, entonces la electricidad de la pila P' es la que hace funcionar el relevo S', y no la de P, como sucedia antes, porque la corriente que viene por $E\ E'$, que no debe olvidarse es la mitad de la que produce la pila P, se encuentra destruida por la mitad de la que proviene de la pila P', la otra mitad de esta, que atraviesa el alambre $a' b' c' d' e'$ queda, por decirlo así, libre, y produce su efecto inductivo sobre el electro-iman S' á impulso del movimiento de la llave $G\ H$ de la otra estacion M.

De suerte que en este segundo caso la electricidad de P no influye directamente sobre el electro-iman S', no hace mas que destruir el antagonismo de las dos corrientes en que se bifurcaba la que sale de P', absorbiendo una de ellas; y aunque queda sin corriente el alambre $A\ B\ C\ D\ E\ E'\ D'\ C'\ B'\ A'$, la hay en $a'\ b'\ c'\ d'\ e'$ y subsiste todo el tiempo que $G H$ permanezca cerrada; es decir, todo el tiempo que quiera el telegrafista de M. Lo que podria suceder es, que el empleado de M' abriera su llave; pero entonces, á pesar de que las cosas pasarian de otro modo, el resultado seria el mismo; es decir, que el electro-iman S' seguiria produciendo el mismo efecto que queria M, aunque inducida entonces por la corriente de P', como dijimos antes.

Este sistema se aplica de la misma manera á los telégrafos de alfabeto, á los electro-químicos, á los de Morse, y en general á todos los que se fundan solo en la interrupcion, y no en la inversion de la corriente; pero mas generalmente al de Morse, y para desvanecer toda duda en cuanto á la manera cómo se obtiene el doble efecto en ambas estaciones, pondrémos algunos casos, recordando antes que en el telégrafo de Morse se obtienen los puntos y rayas cuando el circúito está cerrado, y los espacios blancos cuando está abierto.

Supongamos que *M* quiere hacer una raya mientras *M'* quiere un intervalo ó espacio blanco; no hay entonces dificultad ninguna, porque la llave *G' H'* abierta deja descansar la pila *P'*, no hay mas corriente que la de *P*, que va á *S'*, imanta el hierro del relevo y traza su señal; mientras tanto el receptor de *M* dejará su espacio blanco en el papel, porque no puede ser influido sino por la llave *G' H'*, y esta tiene abierto el circúito.

Si las dos estaciones quieren marcar un punto exactamente al mismo tiempo, las dos llaves *G H*, y *G' H'* cerrarán los circúitos de sus pilas, las dos corrientes se lanzarán á la vez; las dos mitades que afluyen al conductor *E E'* se destruirán, pero quedará en *S'* la corriente parcial *a' b' c' d' e'*, de la pila *P'*, y en *S* la corriente *a b c d e* de la pila *P*, las dos llaves se abrirán á un tiempo, y la corriente dejará de subsistir en ambos; lo mismo sucederá si son dos rayas.

Supongamos ahora que el uno quiere marcar un punto y el otro trazar una raya, ó lo que es lo mismo, que los dos telegrafistas no trabajen sincrónicamente; al principio del trazado del signo mas largo, los efectos tendrán lugar del mismo modo que en el caso de los dos puntos, pero al levantar *G' H'*, por ejemplo, su llave, dejará sin la electricidad de la pila *P'* al relevo *S'*, donde se ha de trazar el signo mas largo; pero nada importa, porque la electricidad de la pila *P* pasa entonces sin obstáculo al rededor del electro-iman *S* y sigue induciéndolo. Por consiguiente los aparatos, cualquiera que sea la posicion de sus llaves respectivas, funcionan siempre á voluntad del empleado de la otra estacion, ambos simultáneamente, sin que la corriente pase por eso en sentido contrario al través del mismo alambre. Todo depende de la construccion de los electro-imanes ó relevos *S S'*, y de la graduacion de los reóstatos *R R'*, que deben presentar una resistencia igual á la del circúito del conductor, igualdad difícil tal vez de obtener en las líneas aéreas, pero de ninguna manera en las subterráneas, y fácil siempre de rectificar con un multiplicador diferencial.

Aunque fundados en el mismo principio, los sistemas empleados por Siemens, Edlund y Wartmann difieren un poco en la disposicion. Siemens y Halske se han valido de un reóstato como el que hemos explicado, y de un multiplicador diferencial además, para reducir siempre á 0° la accion magnética ejercida por la pila en el electro-iman; Edlund ha dividido el alambre *a b c d e* en varios alambres paralelos, que dan vuelta en el mismo sentido al rededor del electro-iman, é introduciendo mas ó menos alambres en el circúito, consigue el mismo efecto que con el reóstato aislado. Wartmann ha propuesto emplear, como M. Gintl, que segun hemos dicho ha sido el primero que ha resuelto el problema, dos pilas locales, una que no obra mas que sobre el alambre *A B C D E*, y la segunda sobre el alambre *a b c d e* solamente.

De la série de casos que hemos presentado para demostrar de qué manera se hace la trasmision, se deduce que el medio mejor de verificar si los telégrafos marchan bien, consiste en mantener cerrada una de las llaves ó manipuladores de una estacion, mientras la otra trasmite el despacho, porque cuando se tiene abierta está en el caso de todos los telégrafos en que no se trasmite simultáneamente.

Los aparatos se construyen de manera, que en la estacion misma que remite el despacho se pueda saber si ha sido exactamente trasmitido, para lo cual el brazo de palanca del telégrafo de Morse, por ejemplo, que funciona en la estacion que recibe, puede cerrar y abrir el circúito de la pila local, y se dispone el conmutador convenientemente para que esta corriente sea lanzada sobre la misma línea y vuelva á la primera estacion á hacer marchar el aparato telegráfico. En ese caso el receptor de la segunda estacion hace las veces de manipulador, y devuelve el despacho á la primera al mismo tiempo que lo escribe. Si en la segunda estacion se lanza de la misma manera el despacho á un tercer punto, y este á otro, se ve que por medio del primer manipulador el despacho se trasmite y se escribe simultáneamente en los otros puntos,

se obtiene, en una palabra, el efecto que produce el relevo reotómico de Du Moncel, pág. 548.

Trasmision simultánea de dos despachos por un solo alambre en el mismo sentido.

En el número de *La Science* del 27 de agosto de 1857 ha publicado M. Dorville un artículo, en que explica el medio de que se ha valido M. Stark de Viena para trasmitir simultáneamente dos despachos por el mismo conductor, uno entre Gratz y Viena y otro entre Trieste y Viena, pasando tambien por Gratz; de suerte que trasmitiendo Viena, habia que obrar sobre el receptor de Gratz solo, sobre el de Trieste y sobre los dos simultáneamente.

Para resolver este interesante problema de telegrafía, M. Stark emplea tres corrientes de distinta intensidad é independientes unas de otras en su accion, dice el artículo citado, y modifica ligeramente el manipulador del telégrafo de Morse que se usa comunmente.

Trascribiriamos la descripcion y figuras que para dar á conocer el sistema de M. Stark trae *La Science*, si no la encontráramos incompleta y oscura, pues si bien expone con claridad la manera cómo funcionan los manipuladores independiente y simultáneamente, y cómo están dispuestas las pilas para que la intensidad de la corriente varie segun el manipulador que se ponga en accion, encontramos que falta explicar de qué modo obra la corriente en los receptores, y de qué artificio se vale para evitar que los movimientos ejecutados con el manipulador de corriente mas fuerte, influyan cuando no deban en la armadura que presenta menos resistencia, si como creemos, además de la desigualdad de las corrientes que trasmiten los diferentes manipuladores, es menester que haya desigualdad en la resistencia que presentan las armaduras de los receptores sobre que han de obrar.

La premura con que añadimos estos renglones despues de

escrita y entregada nuestra obra al impresor, nos impide acudir al autor ú otras personas entendidas, para resolver nuestras dudas; y la misma falta de tiempo, así como la de espacio, nos impide entrar aquí en consideraciones que nos condujeran á descubrir la explicacion del hecho presentado por M. Stark, como lo hicimos con el de la trasmision simultánea de dos despachos en sentido contrario, que encontramos algo confusa en las obras de Becquerel, Pouillet y otras que habiamos consultado.

FIN DE LA PRIMERA PARTE.

ÍNDICE

DE

LAS MATERIAS QUE CONTIENE ESTA PRIMERA PARTE.

Pág.

RESEÑA HISTORICO-ELEMENTAL DE LA ELECTRICIDAD.

CAPITULO PRIMERO.

ELECTRICIDAD ESTÁTICA.

CAPITULO II.

ELECTRICIDAD DINAMICA, GALVANISMO, TERMO-ELECTRICIDAD.

CAPITULO III.

MAGNETISMO.

CAPITULO IV.

ELECTRO-MAGNETISMO. — ELECTRO-DINÁMICA.

CAPITULO V.

INDUCCION ELÉCTRICA.

CAPITULO VI.

PROPAGACION DE LA ELECTRICIDAD.

APLICACIONES DE LA ELECTRICIDAD.

CAPITULO VII.

APLICACIONES VARIAS DE LA ELECTRICIDAD.

CAPITULO VIII.

TELEGRAFIA ELÉCTRICA.

FIN DEL ÍNDICE.

